



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA A UNA MEZCLA
ASFÁLTICA PERMEABLE AL INCORPORAR FIBRA DE
VIDRIO COMO MEJORADOR DE LAS PROPIEDADES
MARSHALL”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Quizhpilema Acero, Julio César

Tutor:

Mgs. Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Julio César Quizhpilema Acero**, con cédula de ciudadanía **035013685-9**, autor del trabajo de investigación titulado: **Evaluación de la macrotextura a una mezcla asfáltica permeable al incorporar fibra de vidrio como mejorador de las propiedades Marshall**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 11 de noviembre de 2022.



Julio Cesar Quizhpilema Acero

C.I: 03501136859

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Evaluación de la macrotextura a una mezcla asfáltica permeable al incorporar fibra de vidrio como mejorador de las propiedades Marshall** por **Julio Cesar Quizpilema Acero**, con cédula de identidad número **0350136859**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 11 de noviembre de 2022.

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Evaluación de la macrotextura a una mezcla asfáltica permeable al incorporar fibra de vidrio como mejorador de las propiedades Marshall**, presentado por **Julio Cesar Quizhpilema Acero**, con cédula de identidad número **0350136859**, bajo la tutoría del Mgs. **Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir**; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 11 de noviembre de 2022.

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García
Presidente del Tribunal de Grado



Firma

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar
Miembro del Tribunal de Grado



Firma

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides
Miembro del Tribunal de Grado



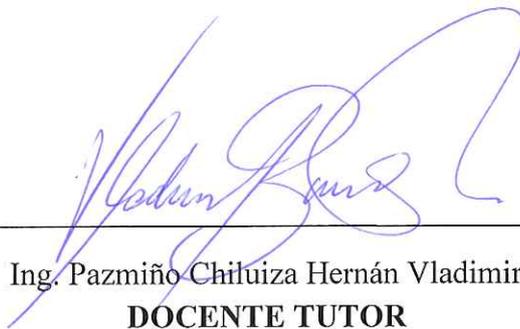
Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Original

Que, **QUIZHPILEMA ACERO JULIO CESAR** con CC: **035013685-9**, estudiante de la Facultad de **INGENIERÍA** de la carrera de **INGENIERÍA CIVIL**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA A UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE AL INCORPORAR FIBRA DE VIDRIO COMO MEJORADOR DE LAS PROPIEDADES MARSHALL”** que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL- PRODUCTIVO Y HÁBITAT SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el **01 %**, reportado en el sistema Anti plagio nombre del sistema, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de noviembre de 2022



Ing. Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir
DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo especialmente a mis padres José y María, y a mis tres hermanos. Pues ellos han estado en cada momento de esta trayectoria siempre apoyándome así que este logro es completamente gracias a ellos por el gran esfuerzo y sacrificio que han realizado.

También quiero dedicar este logro a mi esposa y mis dos hijos pues son el motor y motivo para seguir luchando y mejorando día tras día en todos los aspectos personales.

Julio Cesar Quizhpilema Acero

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme gozar de salud y vida para poder culminar con una etapa más de mi vida. De la misma forma quiero agradecer a mis padres por el apoyo brindado.

Al mismo tiempo también agradezco a todos mis profesores, compañeros y demás personas que hicieron de la Universidad Nacional de Chimborazo un hermoso lugar de instrucción en este lapso de tiempo, de manera especial al Ing. Vladimir Pazmiño que con su amplio conocimiento supo guiar en el desarrollo de esta investigación.

Julio Cesar Quizhpilema Acero

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
Antecedentes.....	15
Planteamiento del Problema	15
Objetivos.....	17
General.....	17
Específicos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
Los Pavimentos	18
Pavimento Flexible.....	18
Capa de Rodadura.....	18
Mezcla Asfáltica.....	19
Mezcla Asfáltica y su clasificación	19
Mezcla asfáltica permeable	19
Ventajas de la mezcla asfáltica permeable	20
Desventajas de la mezcla asfáltica permeable.....	21
Parámetros volumétricos	22
Normativa para el diseño de una mezcla asfáltica permeable.....	23
Productos asfálticos	23
Cemento asfáltico	23
Agregado pétreo	24
Agregados de la Zona Central	24
Fibra de vidrio	24
Tipo de fibras:.....	25
Mezclas asfálticas realizadas con fibra de vidrio	26
Método Marshall	27
Compactación de Mezclas Asfálticas	27
Clasificación del tráfico y sus propiedades Marshall	27
Macrotextura.....	29
Definición	29
Métodos de medida de la macrotextura.....	29
Ensayo de Mancha de Arena	29

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	31
Diagrama Metodológico	31
Tipo de Investigación	31
Técnicas de recolección de Datos.....	32
Tamaño y muestra de estudio	32
Diseño de Investigación.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Características de los agregados	35
Granulometría.....	35
Peso específico y Absorción.....	40
Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos.....	44
Características de la Fibra de Vidrio	48
Densidad Específica	48
Absorción	50
Mezclas Asfálticas incorporadas fibra de vidrio	51
Dosificación de las Mezclas Asfálticas	51
Elaboración de mezclas asfálticas	51
Peso Específico Densidad aparente (“Gb”).....	53
Ensayo Marshall	54
Ensayo Densidad teórica máxima (Gmm).....	55
Porcentaje de Vacíos	56
Porcentaje óptimo de fibra de vidrio	57
Ensayo de la Macrotextura	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
Conclusiones.....	67
Recomendaciones	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	72
Anexo 1: Fibra de Vidrio.....	72
Anexo 2: Dosificaciones usadas para las Mezclas Asfálticas	73
Anexo 3: Energía de compactación usada en la loseta de mezcla asfáltica.	74
Anexo 4: Especificación del compactador mecánico usado.....	75

Anexo 5: Características de la arena de sílice.	76
2.2. Anexo 6: Valor mínimo de macrotextura	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de mezclas asfálticas	19
Tabla 2.- Banda granulométrica para mezcla permeable.	23
Tabla 3.- Clasificación de los Cementos Asfálticos	23
Tabla 4.- Características de los diferentes tipos de fibra.	25
Tabla 5.-Mezclas asfálticas incorporadas Fibras de Vidrio.....	26
Tabla 6.- Tipo de Tráfico.....	27
Tabla 7.- Ejes equivalentes para nivel de tráfico.....	28
Tabla 8.- Valores de Estabilidad y Flujo (MOP).....	28
Tabla 9.- Valores de estabilidad y flujo (INVIAS).	28
Tabla 10.- Total de especímenes para la investigación	32
Tabla 11.- Fórmula testigo utilizada en el proyecto.	32
Tabla 12.-Dosificaciones de mezclas asfálticas	33
Tabla 13.-Granulometría del Agregado 3/4 - Mina Guamote	36
Tabla 14.- Granulometría del agregado 3/8 – Mina Guamote.....	37
Tabla 15.- Granulometría del Agregado 3/8 - Mina Chambo.	38
Tabla 16.- Granulometría del Agregado Fino – Mina Chambo.	39
Tabla 17.-. Peso específico y Absorción del Agregado 3/4 - Mina Guamote.	40
Tabla 18.- Peso específico y Absorción del Agregado 3/8 - Mina Guamote.	41
Tabla 19.- Peso específico y Absorción del Agregado 3/8 - Mina Chambo.	41
Tabla 20.- Peso específico y Absorción del Agregado Fino - Mina Chambo.....	42
Tabla 21.- Peso específico de los agregados pétreos.....	43
Tabla 22.- Masa Unitaria del Agregado 3/4” – Mina Guamote.	45
Tabla 23.- Masa Unitaria del Agregado 3/8” – Mina Guamote.	45
Tabla 24.- Masa Unitaria del Agregado 3/8” – Mina Chambo.	46
Tabla 25.- Masa Unitaria del Agregado Fino – Mina Chambo.....	47
Tabla 26.- Masa unitaria de los agregados pétreos.....	47
Tabla 27.- Porcentaje de vacíos de los agregados pétreos.....	48
Tabla 28.- Ensayo de densidad de la Fibra de Vidrio.....	49
Tabla 29.- Ensayo de Absorción de la Fibra de Vidrio.	50
Tabla 30.- Nomenclatura usada en la identificación de las mezclas asfálticas	52
Tabla 31.- Peso específico de las mezclas asfálticas	53
Tabla 32.- Estabilidad mediante procedimiento Marshall.....	54
Tabla 33.- Flujo mediante procedimiento Marshall.	55
Tabla 34.- Densidad Teórica máxima (Gmm).....	56
Tabla 35.- Porcentaje de Vacíos de la Mezcla asfáltica permeable.....	57

Tabla 36.- Fórmula maestra propuesta	57
Tabla 37.- Dosificación para la loseta sin fibra de vidrio (Fórmula Testigo).	59
Tabla 38.- Dosificación para la loseta 2 % de fibra de vidrio (Fórmula Maestra).	59
Tabla 39.- Ensayo de Macrotextura a la loseta sin Fibra de Vidrio- muestra 1.	63
Tabla 40.- Ensayo de Macrotextura a la loseta sin Fibra de Vidrio- muestra 2.	64
Tabla 41.- Ensayo de Macrotextura a la loseta con 2% de Fibra de Vidrio- muestra 1.	64
Tabla 42.- Ensayo de Macrotextura a la loseta con 2% de Fibra de Vidrio- muestra 2.	65
Tabla 43.- Características de la Fibra de Vidrio	72
Tabla 44.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica testigo (0 % de Fibra de vidrio)....	73
Tabla 45.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (0.3 % de Fibra de vidrio).	73
Tabla 46.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (0.6 % de Fibra de vidrio).	73
Tabla 47.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (1.0 % de Fibra de vidrio).	73
Tabla 48.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (1.5 % de Fibra de vidrio).	73
Tabla 49.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (2.0 % de Fibra de vidrio).	73
Tabla 50.- Energía de compactación empleada en la briqueta y la loseta.	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Estructura de un pavimento flexible.	18
Ilustración 2.- a) asfalto normal y poroso, b) mezcla porosa.	20
Ilustración 3.- Componente del diagrama de compactación de una HMA.....	22
Ilustración 4.- Macrotextura y Microtextura de un Pavimento.	29
Ilustración 5.- Ensayo Mancha de Arena.....	30
Ilustración 6.- Tamizado de los Agregados.	35
Ilustración 7.- Curva Granulométrica del Agregado 3/4" - Mina Guamote	36
Ilustración 8.- Curva granulométrica del agregado 3/8 – Mina Guamote	37
Ilustración 9.- Granulometría del Agregado 3/8 - Mina Chambo.	38
Ilustración 10.- Granulometría del Agregado Fino – Mina Chambo.	39
Ilustración 11.- Ensayo del Peso específico y Absorción del agregado grueso.	40
Ilustración 12.- Ensayo de Peso específico y Absorción del agregado Fino.	42
Ilustración 13.- Ensayo de Masa Unitaria y porcentaje de vacíos.....	44
Ilustración 14.- Ensayo de Densidad de la Fibra de Vidrio.....	49
Ilustración 15.- Ensayo de Absorción de la Fibra de Vidrio.	50
Ilustración 16.- Elaboración de mezclas asfálticas.....	51
Ilustración 17.- Identificación de las probetas.....	52
Ilustración 18.- Ensayo Peso Específico "Gb".	53
Ilustración 19.- Ensayo Densidad teórica máxima (Gmm)	55
Ilustración 20.- Moldes usados para las losetas.....	58
Ilustración 21.- Elaboración de losetas sin Fibra de vidrio.	60
Ilustración 22.- Elaboración de losetas con 2% de Fibra de vidrio.	60
Ilustración 23.- Compactación mecánica de las losetas.	61
Ilustración 24.- Losetas realizadas con el 2% y 0% de Fibra de vidrio.....	62

Ilustración 25.- Ensayo de Macrotextura.....	63
Ilustración 26.- Textura Superficial presente en las losetas elaboradas.	65

ÍNDICE DE ABREVIATURA

Abreviatura:	Significado:
ASTM:	American Society for Testing and Materials
Gb:	Gravedad específica Bulk
Gmm:	Gravedad específica Rice
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IMDP:	Intensidad media diaria de vehículos pesados
Lb:	Libra (unidad física de fuerza)
M:	Masa Unitaria
Va:	Contenido de Vacíos
MTOP:	Ministerio de transporte y obras públicas
N:	Newton (unidad física de fuerza)
NCAT:	Normocephalic/atraumático
NEVI:	Norma ecuatoriana vial
NLT:	Norma del Laboratorio del Transporte
TRECX:	Empresa Trex S.A., nombre comercial PINTULAC

RESUMEN

A nivel mundial existe gran cantidad de accidentes de tránsito y en gran medida son ocasionadas por una textura superficial asfáltica que no proporciona la rugosidad necesaria para el agarre del automotor al pavimento y una baja permeabilidad en la mezcla, ocasionando así el fenómeno de hidroplaneo e incrementando las posibilidades de sufrir algún percance.

En la presente investigación se desarrolló una mezcla asfáltica permeable, que facilite la evacuación de las aguas pluviales y proporcione una rugosidad apropiada en la capa de rodadura. Esto mediante la incorporación de agregados de la zona central y la fibra de vidrio al esqueleto mineral.

A partir de una fórmula de mezcla patrón se adicionó distintos porcentajes de fibra de vidrio para comparar las propiedades exhibidas, de esta forma se determinó que el porcentaje óptimo de este material corresponde a un 2% del peso de la mezcla asfáltica, que a pesar de presentar una menor estabilidad en comparación con la muestra testigo goza de buenas características de permeabilidad.

Al mismo tiempo se elaboró losetas de mezcla asfáltica para determinar la textura superficial mediante el ensayo de la mancha de arena, donde se incrementó en 33% el valor de la macrotextura en aquella muestra con incorporación de fibra de vidrio.

Palabras claves: Mezcla Permeable, Macrotextura, Fibra de Vidrio, Marshall.

ABSTRACT

Worldwide, there are a large number of traffic accidents, and they are largely caused by an asphalt surface texture that does not provide the necessary roughness for the vehicle to grip the pavement and a low permeability in the mixture, thus causing the hydroplaning phenomenon and increasing the chances of suffering a mishap.

In the present research, a permeable asphalt mixture was developed, which facilitates the evacuation of rainwater and provides an appropriate roughness in the rolling layer. This was achieved by incorporating aggregates from the central zone and fiberglass into the mineral skeleton.

From a standard mix formula, different percentages of fiberglass were added to compare the properties exhibited, in this way it was determined that the optimal percentage of this material corresponds to 2% of the weight of the asphalt mixture, which in spite of having a lower stability compared to the control sample, has good permeability characteristics.

At the same time, asphalt slabs were made to determine the surface texture by means of the sand stain test, where the value of the macrotexture was increased by 33% in that sample with the incorporation of fiberglass.

Keywords: Permeable Blend, Macrotexture, Fiberglass, Marshall.



Firmado electrónicamente por:
EDISON RAMIRO
DAMIAN ESCUDERO

Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Uno de los componentes principales en la mezcla asfáltica usada en la capa de rodadura es el asfalto, obtenida mediante la destilación fraccionada del petróleo crudo (Róndon Quintana & Reyes Lizcano, 2015). Popularmente es el material de pavimentación más usado a nivel mundial y al tratarse de un recurso no renovable las nuevas investigaciones se han centrado en mejorar su desempeño y comportamiento estructural, con la finalidad de prolongar su vida útil de forma que se evite constantes reemplazos y reparaciones en la carpeta asfáltica (Torres Castelblanco et al., 2019).

Las vías juegan un papel muy importante en un país, debido a que estas vienen a ser la columna vertebral del transporte, su buen estado y óptimo diseño ayuda fomentando el desarrollo económico y por ende el crecimiento de la nación. Lastimosamente cada año se presentan cientos de accidentes de tránsito (Organización Mundial de la Salud, 2009), muchas de las veces ocasionadas por las fuertes lluvias, una baja permeabilidad y una textura superficial muy lisa presente en la capa de rodadura. La circulación de los vehículos sobre la superficie de agua existente muy fácilmente puede provocar el fenómeno de hidropneumático, haciendo que el automotor pierda tracción y su control total, pues las llantas no actúan directamente sobre el asfalto sino más bien sobre una película de agua. (Corral Ávalos, 2016)

Aquí la importancia de generar mezclas asfálticas que brinden la rugosidad necesaria y ayuden a una rápida evacuación del agua, la misma que se logra mediante la permeabilidad de las mezclas, pues esta cualidad ayuda a reducir el volumen y la velocidad de la escorrentía de manera que garantice la seguridad vial. Esto se puede alcanzar mediante un óptimo contenido de volumen de vacíos brindada por una granulometría especial de material pétreo (Orojuela Jiménez & Hernández Pachón, 2018), el cual se puede encontrar en las distintas minas que posee el país. De mismo modo se debe asegurar la rugosidad necesaria que permita el agarre del neumático al pavimento, los límites de textura permisible de la superficie sobre la carpeta de rodadura deben cumplir con los requerimientos mínimos de los valores ya normados en la actualidad.

Planteamiento del Problema

En la necesidad de mejorar la mezcla asfáltica, varios han sido los elementos ensayados en la elaboración de la mezcla, uno de los elementos novedosos más usados es la fibra de vidrio que resulta un buen candidato para experimentar, debido a que es un material isotrópico muy resistente a la tensión, puesto que puede alargarse mucho antes de llegar a

fracturarse (Ponce Quispe, 2021). Las Normativas Ecuatorianas INEN, MTOP y NEVI-12 junto a las normativas extranjeras INVIAS proponen una serie de ensayos para el buen diseño de las mezclas asfálticas, tanto permeables como impermeables.

La presente investigación planteó el diseño de una mezcla asfáltica permeable que favorezca la fácil evacuación del agua pluvial, mediante el aditamento de fibras de vidrio y agregados pétreos propios de las minas existentes en la zona central, además se cuantificó el índice de textura, mediante el ensayo de macrotextura conocido como círculo de arena (Normativa NLT-335), de manera que se identificó la rugosidad que esta manifiesta. Para esto se elaboró una mezcla asfáltica permeable de control y otras adicionando fibra de vidrio al esqueleto mineral para así comparar los efectos en la permeabilidad, fluencia y estabilidad Marshall en estos especímenes.

Objetivos

General

- Establecer la cantidad óptima de fibra de vidrio y agregados pétreos disponibles en la zona central en el diseño de una mezcla asfáltica permeable para la posterior determinación de macrotextura.

Específicos

- Establecer la cantidad de fibra de vidrio óptima que adicionada a los agregados de la zona centro satisfaga las bandas de diseño para el esqueleto mineral establecido en la normativa.
- Determinar la textura superficial de las mezclas permeables mediante el ensayo de círculo de arena.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Los Pavimentos

Concepto y Clasificación

Los pavimentos son estructuras constituidas por un conjunto de capas, están diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales. Este conjunto de capas puede ser apoyado sobre una subrasante natural o mejorada, dependiendo de la capacidad que posee de resistir a las cargas cíclicas que se impondrá en la superficie durante un determinado periodo de tiempo.

De manera general, se pueden considerar las siguientes familias de Pavimentos:

- Pavimento flexible.
- Pavimento rígido.
- Pavimento semirrígido.

Pavimento Flexible

Son estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de cada una de estas. La capa asfáltica está conformada por la carpeta de rodadura (Róndon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).



Ilustración 1.- Estructura de un pavimento flexible.
Fuente:(Construneic, 2022)

Capa de Rodadura

La capa de rodadura asfáltica de una vía se encuentra compuesta por una mezcla de agregados selectos y ligante asfáltico. La textura de dicha superficie de rodadura dependerá del tipo de pavimento; por lo tanto, para pavimentos asfálticos, la irregularidad se generará por las tipologías y exposición de los agregados en la superficie, al conjunto de

irregularidades superficiales se le conoce como “rugosidad geométrica”, y está dividida en microtextura y macrotextura de los pavimentos (Ipiates Carlosama, 2019).

Mezcla Asfáltica

Mezcla Asfáltica y su clasificación

Una Mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas, las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de las mezclas (Arias, Galvis, Orduña, Rodríguez, & Sánchez, 2013).

Tabla 1.- Clasificación de mezclas asfálticas

Parámetros de clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleado	Masilla asfáltica
	Mortero asfáltico
	Concreto asfáltico
	Macadam asfáltico
Por la temperatura de puesta en obra	Mezcla asfáltica en Caliente
	Mezcla asfáltica en Frio
Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica	Mezclas Cerradas o Densas
	Mezclas Semicerradas o
	Semidensas
	Mezclas Abiertas
Por el tamaño máximo del agregado pétreo	Mezclas Porosas o Drenantes
	Mezclas Gruesas
Por la estructura del agregado pétreo	Mezclas Finas
	Mezclas con Esqueleto mineral
Por la granulometría	Mezclas sin Esqueleto mineral
	Mezclas Continuas
	Mezclas Discontinuas

Fuente:(Arias et al., 2013)

Mezcla asfáltica permeable

El objetivo de la mezcla permeable en capas de pavimento, es que permita usar la permeabilidad de la capa para recoger agua, que se ubica encima de la misma, luego conducirla a sitios donde no produzcan daños civiles.

El diseño de estas se basa en la resistencia a disgregación y permeabilidad de la mezcla, ya que para lograr resistencia de la mezcla a la disgregación se tendría que aumentar el contenido de finos y ligante en cambio para obtener una buena permeabilidad se deberá incrementar la cantidad de áridos gruesos. Se buscará una relación entre los dos parámetros con los cuales obtendremos el máximo porcentaje de vacíos posible con una buena resistencia a la disgregación de la mezcla . Estas mezclas se caracterizan por poseer vacíos que van desde el 15 al 25 % interconectados entre sí, formando un elemento a través del cual el agua drena con facilidad (Revelo López, 2016).



Ilustración 2.- a) asfalto normal y poroso, b) mezcla porosa.

Fuente: (Quiroz & Trujillo, 2013)

Ventajas de la mezcla asfáltica permeable

Reducción del hidropneumático

Uno de los mayores riesgos cuando se conduce con lluvia es que se desarrolle el hidropneumático, esto hace que el neumático flote en el agua de modo que el conductor pierda el control de su vehículo. La evacuación rápida del agua a través de la mezcla porosa evitará que se produzca este fenómeno.

Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado

Aun cuando no exista el hidropneumático la lluvia pueda reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie del camino. Los asfaltos porosos pueden contrarrestar este efecto y permitiendo, debido a su estructura que exista rozamiento entre el neumático y la superficie de rodadura, logrando así una mayor seguridad.

Reducción de las proyecciones de agua

Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento y pulverización del agua al paso de los vehículos mejorando notablemente la visibilidad del usuario.

Menor deslumbramiento por los faros de los vehículos

Los conductores que circulan en dirección contraria durante las noches se ven enfrentados al deslumbramiento debido a la reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales (superficie lisa), en cambio, los pavimentos de textura rugosa dispersan la luz y por lo tanto reducen el problema de deslumbramiento permitiendo al conductor ver mejor la señalización horizontal.

Reducción del ruido al paso del vehículo

Las mezclas permeables tienen la capacidad de absorber los ruidos provocados principalmente por el contacto que se produce entre el neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento, los huecos interconectados entre si permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto del conductor, como el entorno, se ven favorecidos por esta reducción.

Desventajas de la mezcla asfáltica permeable

Diseño geométrico riguroso

La mezcla se debe extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable y además que tenga una geometría tal que permita la evacuación del agua.

Drenaje lateral

El agua que ha escurrido por la mezcla permeable debe ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica la construcción de canales y obras de arte.

Menor durabilidad

El periodo de diseño es menor debido a las condiciones propias de las mezclas (Amador, 2014).

Parámetros volumétricos

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado, además el agregado mineral es poroso y absorbe asfalto a un grado variable.

A continuación, se detalla los componentes del diagrama de compactación de una mezcla asfáltica, donde:

- V_{ma} = Volumen de vacíos en agregado mineral
- V_{mb} = Volumen total de mezcla asfáltica
- V_{mm} = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos
- V_{fa} = Volumen de vacíos llenado con asfalto
- V_a = Volumen de vacíos de aire
- V_b = Volumen de asfalto
- V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido
- V_{mm} = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos

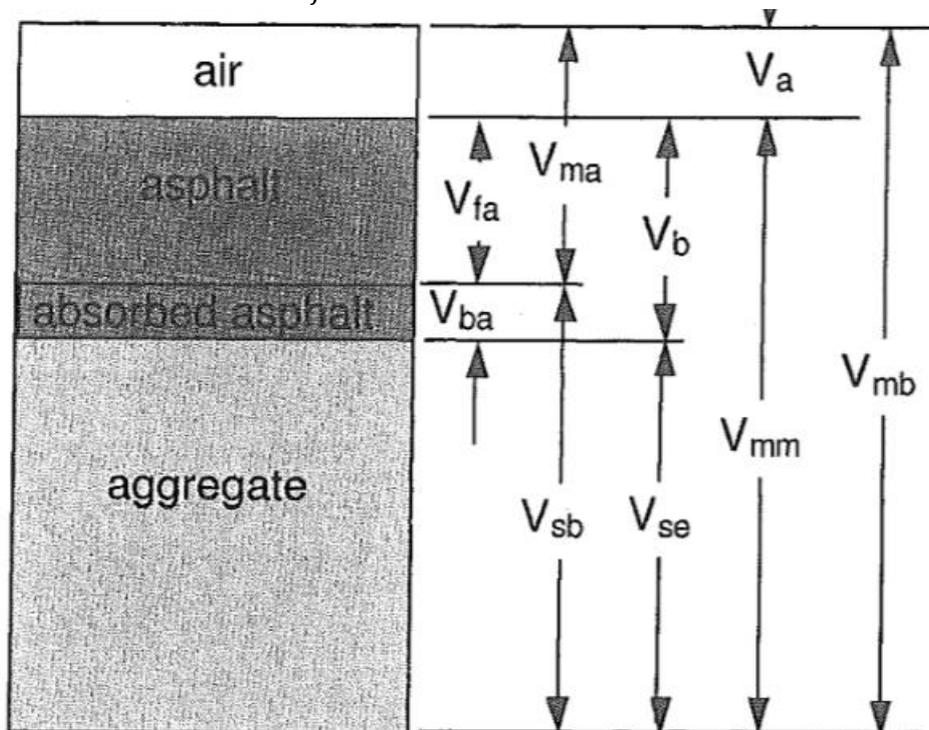


Ilustración 3.- Componente del diagrama de compactación de una HMA.

Fuente: (Asphalt Institute, 2001)

Normativa para el diseño de una mezcla asfáltica permeable

Las distintas fracciones de agregados deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla cumpla con una de las bandas granulométricas establecidas por la norma chilena que se presenta en la Tabla No 2.

Denominación del tamiz (mm)	ASTM	PA 10 % QUE PASA EN PESO	PA 12
20	3/4"		100
12.5	1/2"	100	70-100
10	3/8"	70 - 90	50-80
5	Nº 4	15-30	15-30
2.5	Nº 8	10-22	10-22
0.63	Nº 30	6-13	6-13
0.08	Nº 200	3-5	3-5

Tabla 2.- Banda granulométrica para mezcla permeable.

Fuente: (MTC - SECCION SUELOS, 2014)

Productos asfálticos

Los productos asfálticos utilizados en pavimentos provienen de la destilación del petróleo crudo, ya sea de forma natural o industrial. Estos materiales ligan el agregado pétreo para conformar mezclas asfálticas y son los responsables de brindar a la capa asfáltica la correspondiente durabilidad (Róndon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Algunos tipos de asfaltos usados utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas son:

- Cemento asfáltico.
- Emulsiones asfálticas.
- Asfaltos rebajados.
- Asfaltos modificados.
- Asfaltos espumados.
- Crudos pesados.
- Asfaltos naturales.

Cemento asfáltico

Es un derivado del petróleo que satisface las especificaciones establecidas para los materiales empleados en pavimentación y otros usos industriales. Los cementos asfálticos según su viscosidad se clasifican en:

Tabla 3.- Clasificación de los Cementos Asfálticos

Tipo	Viscosidad a 60°C, Pascal segundo (<i>Pa s</i>)⁽²⁾
AC-2.5	25 ± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-30	300 ± 60
AC-40	400 ± 80

s⁽²⁾ 1 Pa s (Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53

Fuente:(INEN, 2012)

Agregado pétreo

Agregado Pétreo es aquél material proveniente de la roca y se utiliza sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados conteniendo fragmentos de distintos tamaños (arena y gravas),(Olguin de la Mora & Monroy Miranda, 2016).

Agregados de la Zona Central

En el país existe una gran cantidad de minas y canteras destinadas a la explotación de agregados pétreos, incluso en la provincia de Chimborazo, según (Inec, 2002), al menos 314 personas se dedican a explotación de minas y canteras. Entre las minas escogidas por (Arévalo Mazón & Rodríguez Hernández, 2021) se encuentran la mina de Chambo y de Guamoto.

La forma de las partículas de agregado también puede influir en la permeabilidad, las partículas de forma irregular (angulares, planas y/o alargadas) pueden crear trayectorias de flujo que son más tortuosas que las creadas por agregados redondeados y lisos. Esto puede conducir a tasas de flujo más bajas a través de un hormigón de mezcla asfáltica.(Cooley, 1999)

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material que consta de numerosos filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio muy finos. En algunas de sus formas comerciales, concretamente los fieltros o tejidos, se aplica para reforzar plástico, cintas y papel. Otra mención sería la fibra molida, que se utiliza como refuerzo en plásticos moldeados. En cambio, la lana de vidrio se utiliza mayormente en el campo de la construcción (Suresh Sadhwani, 2019).

Tipo de fibras:

Tabla 4.- Características de los diferentes tipos de fibra.

Tipo de Fibra	Diámetro Equivalente (mm)	Densidad (Kg/m ³)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Módulo de Young (Gpa)	Alargamiento de Rotura (%)
Acrílico	0.02 - 0.03	1100	200 - 400	2	1.1
Asbestos	0.0015 - 0.02	3200	600 - 1000	83 - 138	1 - 2
Algodón	0.2 - 0.6	1500	400 - 700	4.8	3 - 10
Vidrio	0.008 - 0.009	2500	1000 - 2600	70-80	1.5 - 3.5
Grafito	0.01	1900	1000 - 2600	230 - 415	0.5 -1
Aramida	0.02 - 0.4	1450	3500 - 3600	65 -133	2.1 - 4
Nylon	0.02 - 0.5	1100	760 - 820	4.1	16 - 20
Poliéster	0.02 - 1	1400	720 - 860	8.3	11 - 13
Polipropileno	0.027 - 0.660	900-950	200 - 760	3.5 - 15	5 - 25
Polvinil Alcohol	-	1300	900 - 1600	23 - 40	1 - 8
Carbón	0.02 - 0.38	1400	4000	230 -240	1.4 - 1.8
Rayón	0.0106	1500	400 - 600	6.9	10 - 25
Basalto	0.025 - 1	2593	990	7.6	2.56
Polietileno	0.06 - 0.3	960	200 - 300	5	3
Sisal	0.08 - 0.3	760 - 1100	228 - 800	11 - 27	2.1 - 4.2
Coco	0.11 - 0.53	680 - 1020	2108 - 250	2.5 - 4.5	1.4 - 4.1
Yute	0.1 - 0.2	1030	250 - 350	26 - 32	1.5 -1.9
Acero	0.15 - 1	7840	345 - 3000	200	4 - 10

Fuente: (Ponce Quispe, 2021)

Mezclas asfálticas realizadas con fibra de vidrio

Varios son los estudios realizados a nivel mundial en cuanto a la incorporación de fibra de vidrio tanto en mezclas asfálticas densas y permeables. A continuación se presenta una recopilación de los mismos:

Tabla 5.-Mezclas asfálticas incorporadas Fibras de Vidrio

Tema de Investigación	Ciudad-País	% de Fibra de Vidrio	Observaciones					
			% de Asfalto	densidad gr/cm3	estabilidad kg	Fluencia mm	% de Vacíos de la Mezcla Asfáltica	Permeabilidad mm/seg
Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix 2020	El Cairo-Egipto	0,00 % Mezcla de Control		2.327	1445	3.80	3.77	-
		0,25 % en peso de la mezcla total.		2.394	1615	3.30	3.40	-
		0,50 % en peso de la mezcla total.	5.30	2.358	1561	3.40	3.54	-
		0,75 % en peso de la mezcla total.		2.367	1547	3.60	3.62	-
		1,00 % en peso de la mezcla total.		2.305	1426	4.10	4.20	-
“Aplicación de fibras de vidrio en el diseño de mezcla asfáltica en caliente para rehabilitar pavimentos flexibles en Juliaca, 2021”	Lima - Perú	0,00 % Mezcla de Control		2.252	1081	3.87	5.30	-
		1,00 % en peso de la mezcla total.	7.00	2.217	1104	3.53	4.07	-
		3,00 % en peso de la mezcla total.		2.204	1122	3.43	3.10	-
		5,00 % en peso de la mezcla total.		2.194	1103	3.30	4.43	-
Experimental study on the effect of basalt and glass fibers on behavior of open-graded friction course asphalt modified with nano-silica	EEUU, Irán		5.00	-	-	-	14.57%	41
		0.20 % en peso de la mezcla	6.00	-	-	-	12.88%	36
The effects of porosity, asphalt content and fiberglass incorporation on the tensile strength and resilient modulus of asphalt concrete blends	Estado De Paraná-Brasil		3.50	-	-	-	8.46%	-
		0.50 % en peso de sólidos	5.00	-	-	-	8.04%	-
			7.50	-	-	-	4.85%	-
Estabilización de mezclas asfálticas drenantes mediante la inclusión de fibras de vidrio y metálicas	Guayaquil – Ecuador	0,00 % Mezcla de Control		-	-	1943	20.40	13.94
		0.30 % en peso del ligante.	3.50	-	-	2010	19.95	12.56

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Método Marshall

El propósito del método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63.5 mm de altura, preparadas y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizadas.

Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento.

Es importante saber que este ensayo es uno de los más conocidos y utilizados tanto para la dosificación de mezclas bituminosas como para su control en planta mediante la verificación de los parámetros de diseño de las muestras tomadas (Flores, 2014).

Compactación de Mezclas Asfálticas

Compactación es el proceso por el cual el concreto asfáltico es comprimido y reducido el volumen. La compactación reduce el contenido de vacíos e incrementa el peso unitario o la densidad de la mezcla. Como resultado de este proceso, los agregados revestidos de asfalto se unen estrechamente, lo cual incrementa el trabazón entre los agregados y la fricción interparticular reduciendo el contenido de vacíos asegurando de este modo que tendrá la capacidad de soporte necesario para resistir las cargas del tráfico esperado y suficiente durabilidad.

La compactación de una mezcla asfáltica puede considerarse que tiene un comportamiento entre un suelo cohesivo y un suelo granular, esta ocurre mediante un proceso de distorsión y reorientación de las partículas. (Dorado Dorado & Guarín Cobo, 2014).

Clasificación del tráfico y sus propiedades Marshall

Según el MOP el Tráfico está en función de la IMDP esperada por el carril de diseño en el momento de poner en funcionamiento la vía, luego de su construcción o de su rehabilitación. Los vehículos pesados no comprenden autos, camionetas ni tractores sin remolque.

Tabla 6.- Tipo de Tráfico

Tráfico	IMDP
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy Pesado	Más de 1000

Fuente: (MOP, 2002)

Mientras que la Normativa INVIAS clasifica al tránsito vehicular en función de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

Tabla 7.- Ejes equivalentes para nivel de tráfico.

Nivel de Tránsito	Nº de Ejes Equivalentes, N_{80kN} , Millones.
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

Fuente: INVIAS, Manual de diseño pavimentos medios y altos volúmenes de tránsito.

Para los distintos niveles de tráfico esperado se encuentran normadas las propiedades Marshall que deben cumplir, así como la cantidad de golpes a aplicarse en la elaboración de mezclas asfálticas.

Tabla 8.- Valores de Estabilidad y Flujo (MOP)

Tipo de Tráfico	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Criterios Marshall								
Nº de Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (Libras)	2200	-	1800	-	1200	-	1000	1400
Flujo (pulgadas/100)	8	14	8	14	8	16	8	16

Fuente: (MOP, 2002)

Tabla 9.- Valores de estabilidad y flujo (INVIAS).

Características	Norma Ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas		
		Categoría de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Compactación (Golpes/Cara)		50	75	75
Estabilidad Mínima (N)	E - 748	5000	7500	9000
Estabilidad Mínima (lb)		1124	1686	2023
Flujo (mm)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5

Fuente: (Normas y especificaciones INVIAS, 2012).

Macrotextura

Definición

Es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm. La amplitud entre picos de la macro-textura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático (Raposeiras Ramos, 2013).

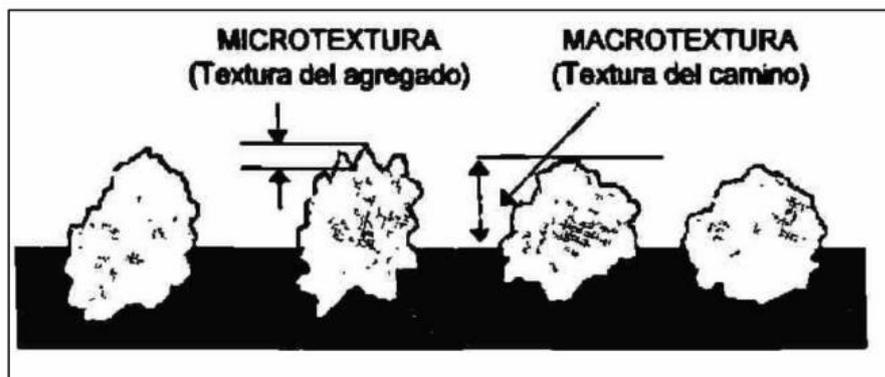


Ilustración 4.- Macrotextura y Microtextura de un Pavimento.
Fuente:(Esparza Aguirre, 2015)

La macrotextura o rugosidad depende del tamaño máximo del agregado y de la composición de la mezcla, tratamiento superficial, sello, etc. La macrotextura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada con pavimento mojado. Se evaluará con el ensayo del círculo o mancha de arena. (MOP, 2002)

Métodos de medida de la macrotextura

Ensayo de Mancha de Arena

En general el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto bituminoso como de hormigón, y consiste en extender sobre una superficie un volumen determinado de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado. A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los huecos rellenos por la arena, valor que puede utilizarse como medida de la rugosidad o textura superficial del pavimento. (Normativa NLT-335)

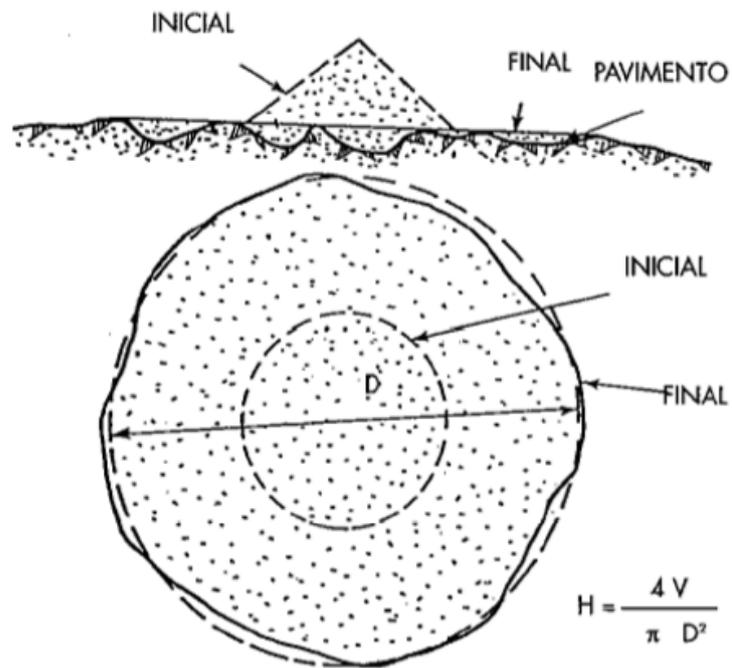


Ilustración 5.- Ensayo Mancha de Arena

Fuente: Normativa NLT 335/ 87.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

Diagrama Metodológico

En el siguiente diagrama se muestra el proceso a seguir para desarrollar la investigación:



Tipo de Investigación

En el presente trabajo se utilizó una metodología experimental - cuantitativa mediante un diseño exploratorio. Se inició con una fórmula maestra tomada de la literatura, la misma que sirvió de testigo para comparar las distintas mediciones de las características presentadas por las mezclas asfálticas al adicionar distintos porcentajes de fibra de vidrio. De este modo se determinó la proporción óptima de este material y posteriormente se midió la macrotextura incorporando dicha cantidad a la mezcla asfáltica permeable.

Técnicas de recolección de Datos

Se realizó una búsqueda bibliográfica en diferentes trabajos, sitios web, libros y artículos científicos publicados en las distintas plataformas digitales con respecto al diseño de mezclas permeables y la textura superficial que estas presentan.

Tamaño y muestra de estudio

Para este estudio se planteó una cantidad de probetas Marshall, mismas que son las muestras asfálticas permeables realizadas con los distintos porcentajes de fibra de vidrio adicionada a la fórmula maestra

Tabla 10.- Total de especímenes para la investigación

Muestras para la investigación	
N° de Diseños	N° de Muestras
Sin fibra de vidrio	
1	3
Con fibra de vidrio	
5	15
Total de Especímenes	18

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Diseño de Investigación

El proyecto de investigación se inició con una revisión bibliográfica, la misma que ayudó en el diseño de la mezcla permeable, Posteriormente se adquirió los agregados de las minas de Guamote y Chambo, además del asfalto proporcionado por la empresa Covipal. Los materiales se seleccionaron de estos orígenes debido a que son los utilizados en la dosificación propuesta en el proyecto de investigación denominada “Diseño de una mezcla asfáltica permeables con agregados de la zona”.

Tabla 11.- Fórmula testigo utilizada en el proyecto.

Mezcla asfáltica permeable					
Agregados	3/4	3/8	3/8	Fino	Bitumen
Lugar/Tipo	Guamote	Guamote	Río Chambo	Río Chambo	
%	21.01	5.73	47.75	21.01	4.5

Fuente: Arévalo Mazón & Rodríguez Hernández, 2021

La fibra de vidrio que se optó por usar fue de la empresa proveedora TRECX S.A. debido a que esta resulta más accesible y presenta mejores cualidades de resistencia, según las especificaciones técnicas brindada por la empresa, Anexo 1.

Una vez adquirido los agregados se procedió a caracterizarlos mediante los siguientes ensayos:

- Granulometría
- Peso específico y absorción
- Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos

Para caracterizar la Fibra de vidrio se ejecutó los siguientes ensayos:

- Densidad Especifica
- Absorción

En base a los estudios detallados en la Tabla 4 se realizó seis mezclas asfálticas, una con la fórmula testigo y otras cinco variando el contenido de fibra de vidrio y el agregado 3/8, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 12.-Dosificaciones de mezclas asfálticas

Agregados	3/4	3/8	3/8	Fibra de Vidrio	Fino	Bitumen
Muestra	Guamote	Guamote	Río Chambo	TRECX S.A.	Río Chambo	Ligante Bituminoso
A	21.01	5.73	47.75	0	21.01	4.5
B	21.01	5.73	47.45	0.3	21.01	4.5
C	21.01	5.73	47.15	0.6	21.01	4.5
D	21.01	5.73	46.75	1.0	21.01	4.5
E	21.01	5.73	46.25	1.5	21.01	4.5
F	21.01	5.73	45.75	2.0	21.01	4.5

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Una vez que se elaboró la mezcla asfáltica se ejecutó sus correspondientes ensayos, mismo que sirvieron para caracterizar, comparar y definir el porcentaje óptimo de fibra de vidrio, los ensayos llevar a cabo son los siguientes:

- Peso Específico Densidad aparente (“Gb”)
- Ensayo de Estabilidad Marshall
- Densidad Teórica máxima (Gmm)

Una vez que se encontró el porcentaje óptimo de fibra de vidrio se elaboró una loseta de mezcla asfáltica, la misma que se usó para determinar la macrotextura mediante el ensayo de la mancha de arena. Se recopiló y discutió los resultados de los ensayos para su análisis respectivo de cada muestra y finalmente proporcionar las referentes conclusiones y recomendaciones para futuros estudios.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez terminada la etapa de caracterización de la fibra de vidrio y de los agregados pétreos extraída de las minas del cantón Guamote y Chambo, provincia de Chimborazo. Mediante el uso de la normativa se elaboró las mezclas asfálticas, tanto la muestra de control como las muestras adicionadas los distintos porcentajes de fibra de vidrio. A continuación, se detalla los ensayos realizados y los resultados obtenidos:

Características de los agregados

Granulometría

Una vez secada las muestras a masa constante se tomó el material para pasarlo por los distintos tamices, de esta manera se obtuvo el peso del material retenido en cada uno de estos. La cantidad de la muestra analizada fue variante en función del tamaño nominal tal como se indica en la Normativa INEN 969 y se detalla a continuación:



Ilustración 6.- Tamizado de los Agregados.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 13.-Granulometría del Agregado 3/4 - Mina Guamote

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO: GRANULOMETRÍA					
Realizado por: Julio Quizhpilema			MUESTRA: Agregado 3/4" - Mina Guamote		
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 12/04/22		
UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.					
Abertura de tamiz		Retiene	% Retenido		Pasante
In	Mm	Gramos	% Individual	% Acumulado	%
1	25.400	0	0.00	0	100
3/4"	19.000	2606	52.12	52.12	47.88
1/2"	12.700	2317	46.34	98.46	1.54
3/8"	9.525	62	1.24	99.70	0.3
N° 4	4.750	4	0.08	99.78	0.22
N°8	2.360	1	0.02	99.80	0.2
N°30	0.600	0	0.00	99.80	0.2
N°50	0.300	0	0.00	99.80	0.2
N°100	0.150	3	0.06	99.86	0.14
N°200	0.075	3	0.06	99.92	0.08
BANDEJA		4	0.08	100.00	0
TOTAL=		5000.00			

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

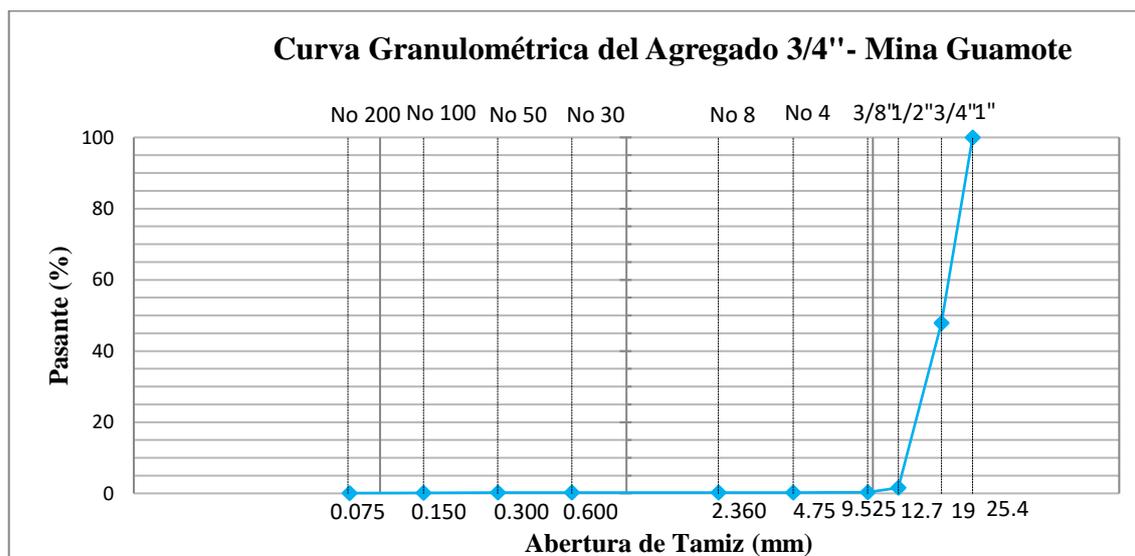


Ilustración 7.- Curva Granulométrica del Agregado 3/4" - Mina Guamote

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 14.- Granulometría del agregado 3/8 – Mina Guamote

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO: GRANULOMETRÍA

Realizado por: Julio Quizhpilema **MUESTRA:** Agregado Grueso 3/8 " – Mina Guamote
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño **FECHA DE ENSAYO:** 13/04/22
UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Abertura de tamiz		Retiene	% Retenido		Pasante
in	mm	gramos	% Individual	% Acumulado	%
1	25	0	0.00	0	100
3/4"	19	0	0.00	0.00	100
1/2"	12.7	801	80.10	80.10	19.9
3/8"	9.5	189	18.90	99.00	1
N° 4	4.75	4	0.40	99.40	0.6
N°8	2.36	1	0.10	99.50	0.5
N°30	0.6	0	0.00	99.50	0.5
N°50	0.31	1	0.10	99.60	0.4
N°100	0.15	2	0.20	99.80	0.2
N°200	0.075	2	0.20	100.00	0
BANDEJA		0	0.00	100.00	0
TOTAL=		1000.00			

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

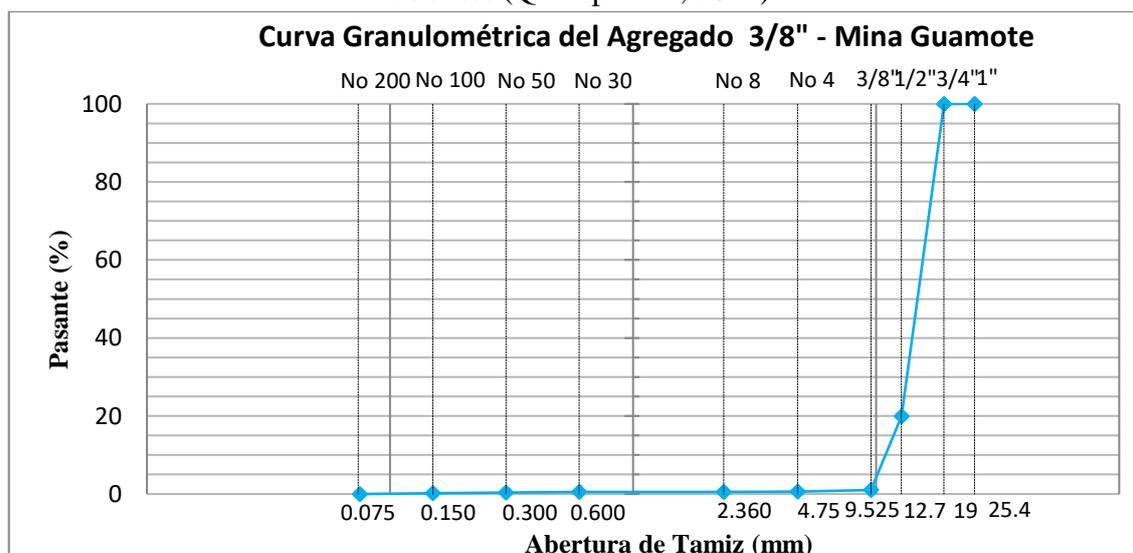


Ilustración 8.- Curva granulométrica del agregado 3/8 – Mina Guamote

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 15.- Granulometría del Agregado 3/8 - Mina Chambo.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO: GRANULOMETRÍA**

Realizado Por: Julio Quizhpilema **MUESTRA:** Agregado Grueso 3/8 " Mina Chambo

TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño **FECHA DE ENSAYO:** 14/04/22

UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Abertura de tamiz		Retiene	% Retenido		Pasante
in	mm	gramos	% Individual	% Acumulado	%
1	25	0	0.00	0	100
3/4"	19	0	0.00	0.00	100
1/2"	12.7	825	82.50	82.50	17.5
3/8"	9.5	81	8.10	90.60	9.4
N° 4	4.75	12	1.20	91.80	8.2
N°8	2.36	10	1.00	92.80	7.2
N°30	0.6	12	1.20	94.00	6
N°50	0.31	19	1.90	95.90	4.1
N°100	0.15	21	2.10	98.00	2
N°200	0.075	19	1.90	99.90	0.1
BANDEJA		1	0.10	100.00	0
TOTAL=		1000			

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

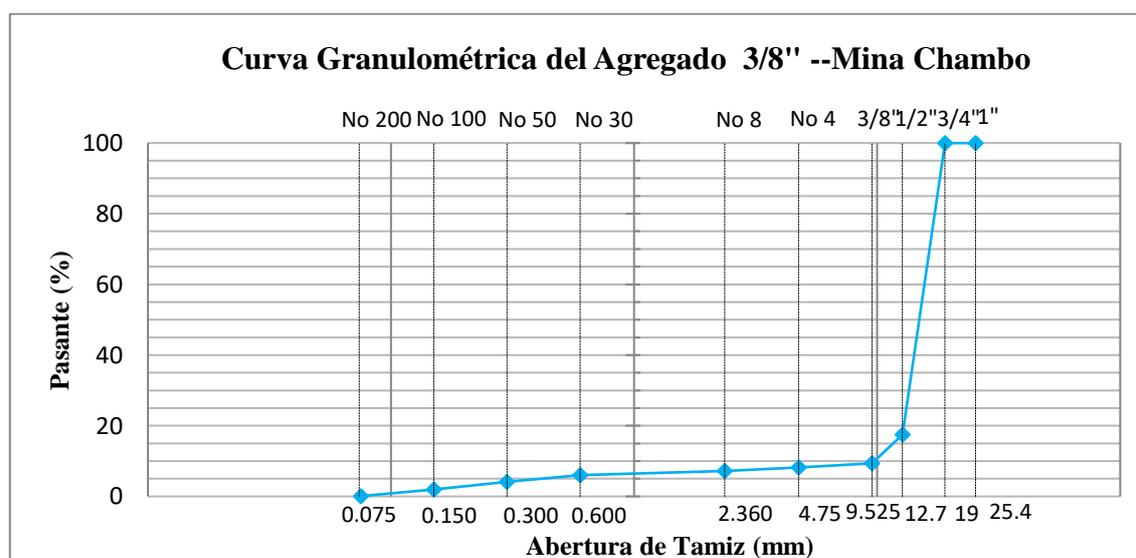


Ilustración 9.- Granulometría del Agregado 3/8 - Mina Chambo.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 16.- Granulometría del Agregado Fino – Mina Chambo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO: GRANULOMETRÍA					
Realizado por: Julio Quizhpilema		MUESTRA: Agregado Fino - Mina Chambo			
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 15/04/22			
UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.					
Abertura de tamiz		Retiene	% Retenido		Pasante
in	mm	gramos	% Individual	% Acumulado	%
1	25	0	0.00	0	100
3/4"	19	0	0.00	0.00	100
1/2"	12.7	0	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	3.7	0.74	0.74	99.26
N° 4	4.75	26.5	5.30	6.04	93.96
N°8	2.36	32.4	6.48	12.52	87.48
N°30	0.6	107.1	21.42	33.94	66.06
N°50	0.31	83.8	16.76	50.70	49.3
N°100	0.15	144.8	28.96	79.66	20.34
N°200	0.075	79.4	15.88	95.54	4.46
BANDEJA		22.3	4.46	100.00	0
TOTAL=		500			

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

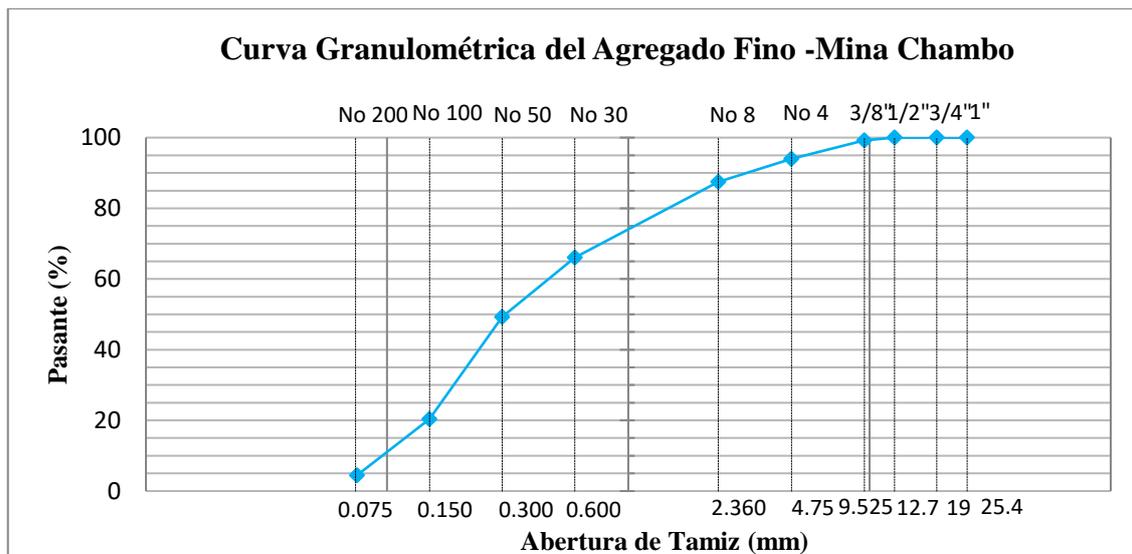


Ilustración 10.- Granulometría del Agregado Fino – Mina Chambo.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

El análisis de las curvas granulométricas mostró que los materiales disponibles en las distintas minas no se encuentran dentro de una granulometría establecida y precisa, pues el porcentaje retenido del tamaño del agregado no llegó a representar ni la mitad de la muestra, a excepción del agregado fino de la mina de Chambo. Un aspecto importante a tener en cuenta ya que el material al ser tamizado disminuye su cantidad y provocaría un incremento al costo del proyecto.

Peso específico y Absorción

Se determinó los pesos específicos de los agregados mediante la normativa INEN 857 y la INEN 856 tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, respectivamente.

El agregado grueso se secó a masa constante a temperatura 110 °C y luego se sumergió en agua durante 24 horas, posteriormente se retiró y secó hasta conseguir el estado saturado superficialmente seco y a continuación se tomó el peso sumergido en la canastilla.



Ilustración 11- Ensayo del Peso específico y Absorción del agregado grueso.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 17- Peso específico y Absorción del Agregado 3/4 - Mina Guamote.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**FACULTAD DE INGENIERÍA****CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL****ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN****Realizado por:** Julio Quizhpilema**MUESTRA:** Agregado 3/4" - Mina Guamote**TUTOR:** Ing. Vladimir Pazmiño**FECHA DE ENSAYO:** 18/04/2022**UBICACIÓN:**

Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Variable	Significado	Peso (gramos)
A	masa de la muestra seca al horno	2974
B	masa del picnómetro lleno con agua	3000
C	masa del picnómetro con masa y agua hasta el punto de calibración	1826.3
RESULTADOS		
Gravedad especifica Bulk (Sh)	$(A/(B-C))$	2.53
Gravedad especifica (Sss)	$(B/(B-C))$	2.56
Gravedad especifica aparente	$(A/(A-C))$	2.59
Porcentaje de Absorción	$(B-A)/(A)$	0.87 %

Fuente: (Quizhpilema, 2022)**Tabla 18.-** Peso específico y Absorción del Agregado 3/8 - Mina Guamote.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**FACULTAD DE INGENIERÍA****CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL****ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN****Realizado por:** Julio Quizhpilema**MUESTRA:** Agregado 3/8" - Mina Guamote**TUTOR:** Ing. Vladimir Pazmiño**FECHA DE ENSAYO:** 19/04/2022**UBICACIÓN:**

Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Variable	Significado	Peso (gramos)
A	masa de la muestra seca al horno	1923
B	masa del picnómetro lleno con agua	2000
C	masa del picnómetro con masa y agua hasta el punto de calibración	1218
RESULTADOS		
Gravedad especifica Bulk (Sh)	$(A/(B-C))$	2.46
Gravedad especifica (Sss)	$(B/(B-C))$	2.56
Gravedad especifica aparente	$(A/(A-C))$	2.73
Porcentaje de Absorción	$(B-A)/(A)$	4.00 %

Fuente: (Quizhpilema, 2022)**Tabla 19.-** Peso específico y Absorción del Agregado 3/8 - Mina Chambo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN

Realizado por: Julio Quizhpilema

MUESTRA: Agregado 3/8 " - Mina Chambo

TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño

FECHA DE ENSAYO: 20/04/2022

UBICACIÓN:

Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Variable	Significado	Peso (gramos)
A	masa de la muestra seca al horno	1987
B	masa del picnómetro lleno con agua	2000
C	masa del picnómetro con masa y agua hasta el punto de calibración	1244.4

RESULTADOS

Gravedad específica Bulk (Sh)	$(A/(B-C))$	2.63
Gravedad específica (Sss)	$(B/(B-C))$	2.65
Gravedad específica aparente	$(A/(A-C))$	2.68
Porcentaje de Absorción	$(B-A)/(A)$	0.65 %

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

El peso específico y absorción del agregado fino se determinó por el método gravimétrico, en el picnómetro se sumergió la muestra saturada superficialmente seca y se eliminó el contenido de aire existente para posteriormente registrar su peso.



Ilustración 12.- Ensayo de Peso específico y Absorción del agregado Fino.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 20.- Peso específico y Absorción del Agregado Fino - Mina Chambo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN

Realizado por: Julio Quizhpilema **MUESTRA:** Agregado Fino - Mina Chambo

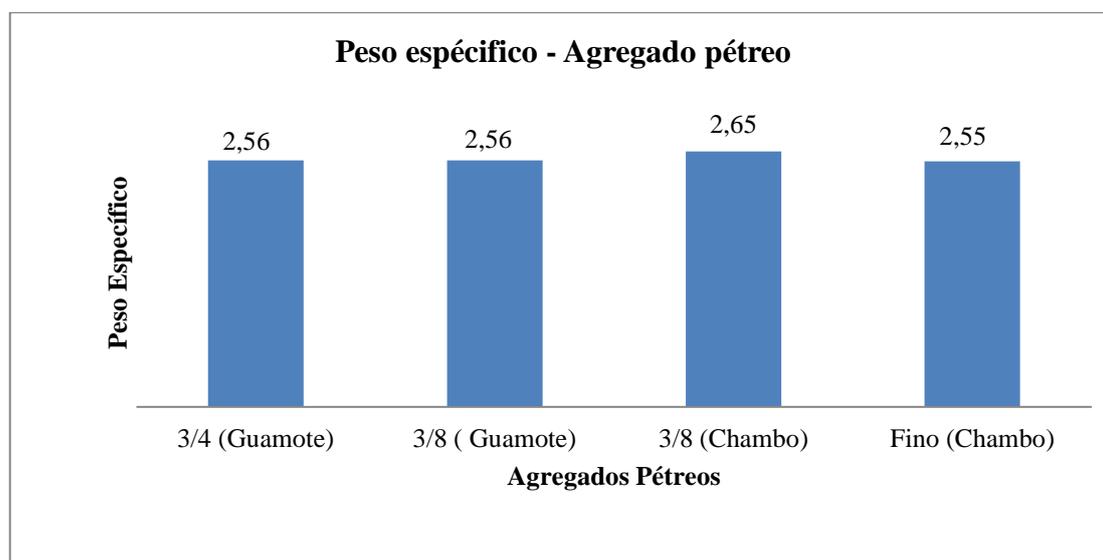
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño **FECHA DE ENSAYO:** 21/04/2022

UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.

Variable	Significado	Peso (gramos)
A	masa de la muestra seca al horno	468.1
B	masa del picnómetro lleno con agua	1210
C	masa del picnómetro con masa y agua hasta el punto de calibración	1514
S	masa de muestra saturada superficialmente seca	500
RESULTADOS		
Gravedad específica Bulk (Sh)	$(A/(B+S-C))$	2.39
Gravedad específica (Sss)	$(S/(B+S-C))$	2.55
Gravedad específica aparente	$(A/(B+A-C))$	2.85
Porcentaje de Absorción	$(S-A)/(A)$	6.81 %

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 21.- Peso específico de los agregados pétreos.



Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Se apreció una gran similitud en el peso por unida de volumen de los agregados a incorporar en el diseño, estos valores fueron usados en la comparación con el peso Bulk de la mezcla asfáltica y detallar el comportamiento que sufrieron al incorporar asfalto y los distintos porcentajes de fibra de vidrio.

El porcentaje de absorción resultó ser mayor en los agregados de menor granulometría, a pesar de estos ser de la misma mina, además se debe considerar que la absorción del asfalto está relacionada directamente con la superficie específica.

Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos

Para este ensayo se basó en la normativa INEN 858 y se desarrolló mediante procedimiento por varillado. Se escogió el molde, de un volumen especificado en función del tamaño máximo nominal del árido, y se llenó mediante tres capas con 25 golpes en cada una de ellas con la ayuda de una varilla. Se determinó la masa del molde vacía e incorporada el agregado. De igual manera se estableció el peso del molde con agua y cubierta con una placa de vidrio.



Ilustración 13.- Ensayo de Masa Unitaria y porcentaje de vacíos.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 22.- Masa Unitaria del Agregado 3/4” – Mina Guamote.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS		
Realizado por: Julio Quizhpilema	MUESTRA:	Agregado 3/4" - Mina Guamote
Tutor: Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO:	25/04/2022
UBICACIÓN:	Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.	
Variable	Significado	
M	masa unitaria (Peso Volumétrico) del árido, kg/m^3	
Va	contenido de vacíos	
V	volumen del molde, m^3	
G	masa del árido más molde, kg	19.770
T	masa del molde, kg	5.871
S	Gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.	2.551
Da	densidad del agua, kg/m^3	998.000
W	masa del agua, placa de vidrio y molde, kg	18.703
M	masa de la placa de vidrio y molde, kg	8.411
D	densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m^3	998.490
RESULTADOS		
V	$(W-M)/D$	0.0103
M	$(G-T)/V$	1,348.43
Va	$((SxM)-Da) \times 100 / (SxDa)$	38.36

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 23.- Masa Unitaria del Agregado 3/8” – Mina Guamote.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS		
Realizado por: Julio Quizhpilema	MUESTRA:	Agregado 3/8" - Mina Guamote
Tutor: Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO:	25/04/2022
UBICACIÓN:	Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.	
Variable	Significado	
M	masa unitaria (Peso Volumétrico) del árido, kg/m^3	
Va	contenido de vacíos	
V	volumen del molde, m^3	
G	masa del árido más molde, kg	7.147
T	masa del molde, kg	2.632
S	Gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.	2.647
Da	densidad del agua, kg/m^3	998.000

W	masa del agua, placa de vidrio y molde, kg	8.044
M	masa de la placa de vidrio y molde, kg	5.172
D	densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m^3	998.490
RESULTADOS		
V	$(W-M)/D$	0.0029
M	$(G-T)/V$	1,569.70
Va	$((SxM)-Da)x100 / (SxDa)$	37.26

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 24.- Masa Unitaria del Agregado 3/8" – Mina Chambo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS		
Realizado por: Julio Quizhpilema	MUESTRA: Agregado 3/8" - Mina Chambo	
Tutor: Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 26/04/2022	
UBICACIÓN:	Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.	
Variable	Significado	
M	masa unitaria (Peso Volumétrico) del árido, kg/m^3	
Va	contenido de vacíos	
V	volumen del molde, m^3	
G	masa del árido más molde, kg	7.297
T	masa del molde, kg	2.632
S	Gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.	2.558
Da	densidad del agua, kg/m^3	998.000
W	masa del agua, placa de vidrio y molde, kg	8.044
M	masa de la placa de vidrio y molde, kg	5.172
D	densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m^3	998.490
RESULTADOS		
V	$(W-M)/D$	0.0029
M	$(G-T)/V$	1,621.85
Va	$((SxM)-Da)x100 / (SxDa)$	38.58

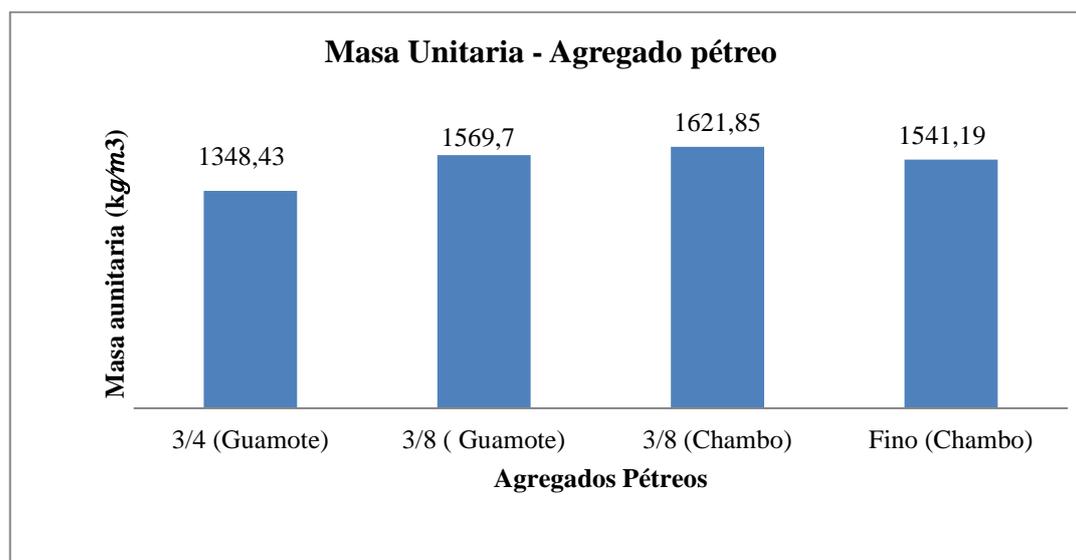
Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 25.- Masa Unitaria del Agregado Fino – Mina Chambo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO: MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS			
Realizado por:	Julio Quizhpilema	MUESTRA:	Agregado Fino - Mina Chambo
Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO:	26/04/2022
UBICACIÓN:			Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.
Variable	Significado		
M	masa unitaria (Peso Volumétrico) del árido, kg/m^3		
Va	contenido de vacíos		
V	volumen del molde, m^3		
G	masa del árido más molde, kg		7.065
T	masa del molde, kg		2.632
S	Gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN 857 o la NTE INEN 856.		2.556
Da	densidad del agua, kg/m^3		998.000
W	masa del agua, placa de vidrio y molde, kg		8.044
M	masa de la placa de vidrio y molde, kg		5.172
D	densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m^3		998.490
RESULTADOS			
V	$(W-M)/D$		0.0029
M	$(G-T)/V$		1,541.19
Va	$((SxM)-Da) \times 100 / (SxDa)$		38.61

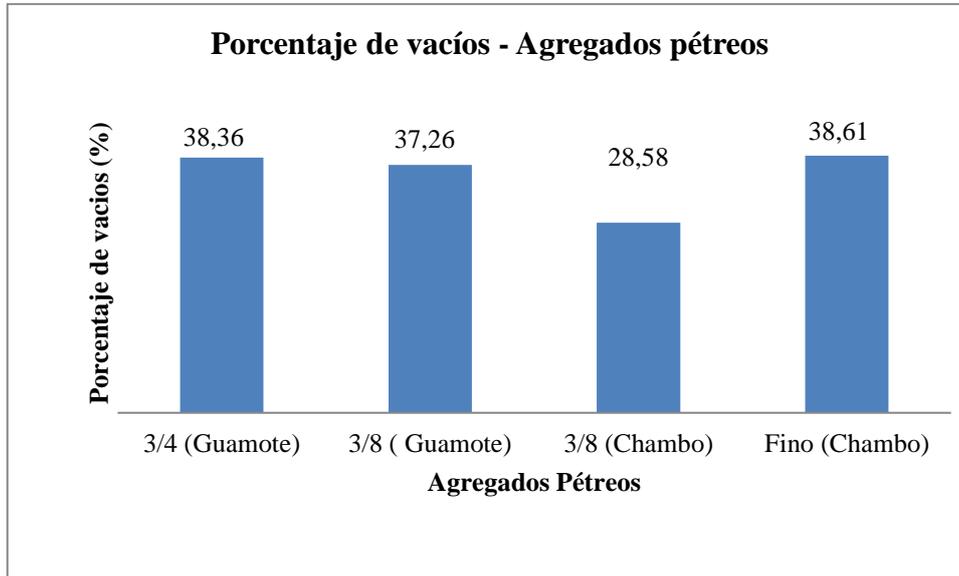
Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 26.- Masa unitaria de los agregados pétreos.



Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 27.- Porcentaje de vacíos de los agregados pétreos.



Fuente: (Quizhpilema, 2022)

La cantidad de material pétreo contenido por metro cubico fue mayor en las agregados más pequeños, esto debido al mejor acomodo entre partículas. Además el contenido de vacíos entre los agregados resultó similar, a excepción del material 3/8 de la mina de chambo.

Características de la Fibra de Vidrio

Densidad Específica

Este ensayo se realizó mediante la Norma INEN 2 527:2010 y ASTM 792 2008, mediante una madeja elaborada con la fibra se sumergió por 24 horas, se ensambló una estructura y se determinó la densidad mediante el uso del principio de Arquímedes.

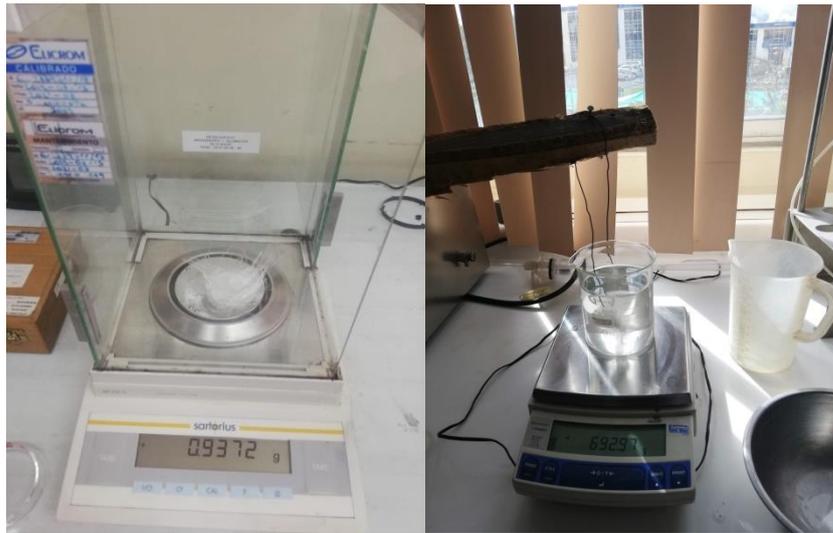


Ilustración 14.- Ensayo de Densidad de la Fibra de Vidrio.
Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 28.- Ensayo de densidad de la Fibra de Vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO: Densidad de la Fibra de Vidrio			
REALIZADO POR: Julio Quizhpilema		MUESTRA: Fibra de Vidrio	
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 06/04/2022	
UBICACIÓN: Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.			
Variable	Significado	Peso (gr)	
A	Fibra Seco	0.9372	
B	Vaso de Precipitación + 500 ml de agua	688.24	
C	Vaso de Precipitación + 500 ml de agua + alambre	691.2	
E	Vaso de Precipitación + 500 ml de agua + alambre + fibra de Vidrio	692.97	
Pi	Densidad del agua (Kg/m^3)	998.49	
H	Peso sumergido del Gancho de alambre	2.96	
D	Peso del espécimen acondicionado (Fibra de Vidrio Húmeda, posterior a las 24 horas sumergida en agua)	2.9059	
W+H	Peso sumergido del espécimen y el gancho de alambre	4.73	
RESULTADOS			
Pf	Densidad de la Fibra de Vidrio	2554.37	Kg/m^3
Pf	Densidad de la Fibra de Vidrio	2.55	gr/cm^3

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Absorción

En base a la normativa ISO 3344 – 1977, la fibra se secó en el horno a una temperatura de 50 °C por 24 horas y posteriormente fue sumergido por el mismo lapso de tiempo, se secó superficialmente y cuantificó todos los pesos para establecer el porcentaje de absorción.

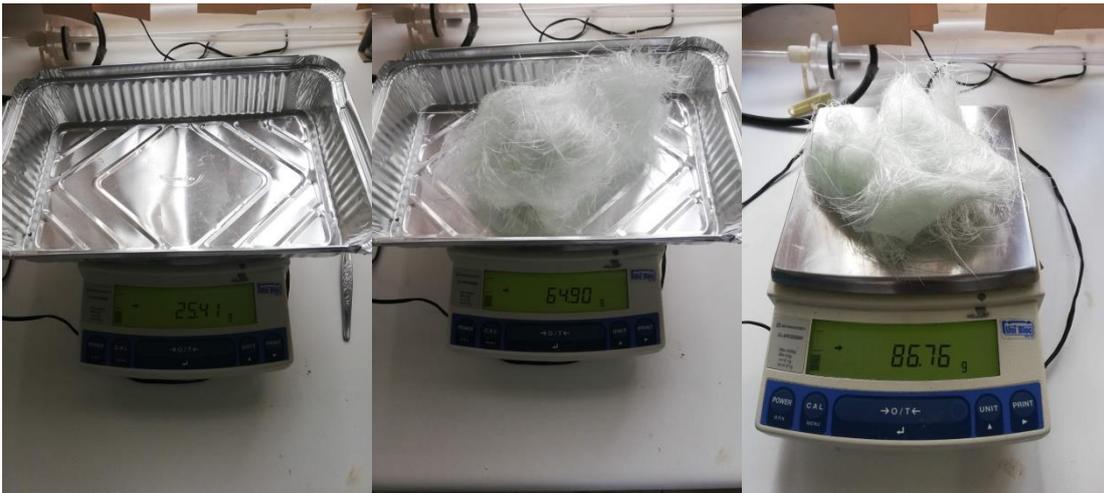


Ilustración 15.- Ensayo de Absorción de la Fibra de Vidrio.
Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Tabla 29.- Ensayo de Absorción de la Fibra de Vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN		
REALIZADO POR:	Julio Quizhpilema	MUESTRA: Fibra de Vidrio
TUTOR:	Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 08/04/2022
UBICACIÓN:	Laboratorio de ensayos de materiales, suelos y pavimentos, UNACH.	
Variable	Significado	Peso (gr)
A	Peso de la Bandeja	25.41
B	Peso de la Bandeja + Muestra Secada en el Horno	64.9
Peso Seco	Peso de la Muestra Seca	39.49
Peso SSS	Peso de la Muestra Superficialmente Seca	86.76
RESULTADOS		
%Abs.	Porcentaje de absorción	119.70%

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

La fibra de vidrio presentó un elevado porcentaje de absorción, un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de la mezcla permeable, sin embargo cabe recalcar que un porcentaje teórico de asfalto está relacionado con la superficie específica y este material posee una superficie muy reducida en comparación con los agregados.

Mezclas Asfálticas incorporadas fibra de vidrio

Dosificación de las Mezclas Asfálticas

Las dosificaciones de la formula testigo y las incorporadas los distintos porcentajes de fibra de vidrio se detallan en el Anexo 2.

Elaboración de mezclas asfálticas



Ilustración 16.- Elaboración de mezclas asfálticas.
Fuente: (Quizhpilema, 2022)

Las distintas mezclas asfálticas se elaboraron en base a la normativa NLT 159 y ASTM D1599. Se secó el material a peso constante y seguidamente se calentó en una estufa, los agregados y el asfalto por separada para posteriormente mezclar y llevar a la prensa de ensayo, evitando que la temperatura de la mezcla descienda el valor normado.

Tabla 30.- Nomenclatura usada en la identificación de las mezclas asfálticas

Nomenclatura	% de Fibra de vidrio
A	0.00
B	0.30
C	0.60
D	1.00
E	1.50
F	2.00

Fuente: (Quizhpilema, 2022)



Ilustración 17.- Identificación de las probetas.

Fuente: (Quizhpilema, 2022)

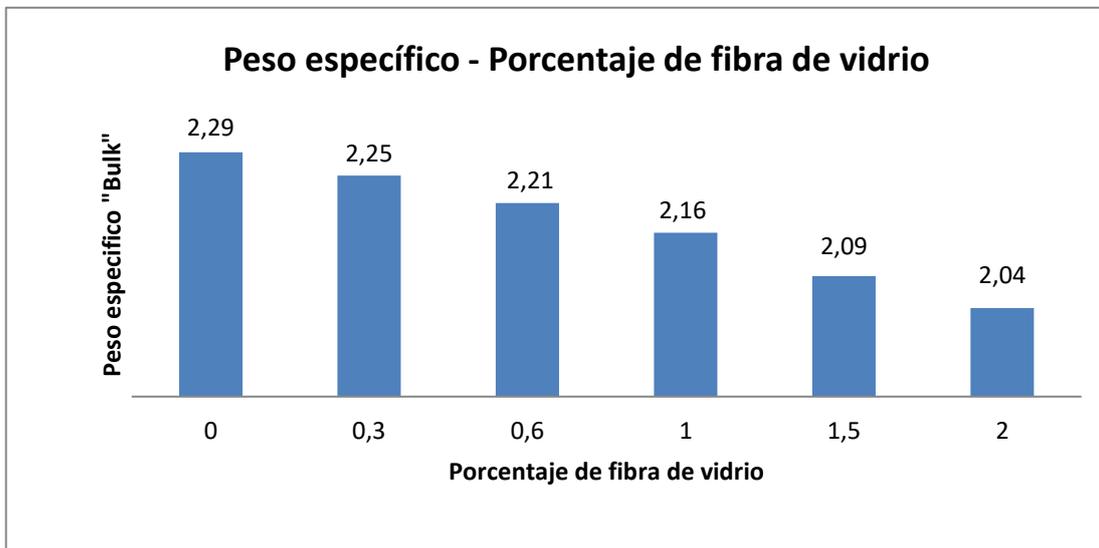
Peso Específico Densidad aparente ("Gb")



Ilustración 18.- Ensayo Peso Específico "Gb".
Fuente: (Quizpilema, 2022)

Se basó en la Normativa ASTM D 1188 y se registró el peso seco en aire, el peso al sumergir por un periodo de 5 a 15 minutos en el agua y por último el peso de la muestra en estado saturada superficialmente seca. Obteniendo así los siguientes pesos específicos:

Tabla 31.- Peso específico de las mezclas asfálticas



Fuente: (Quizpilema, 2022)

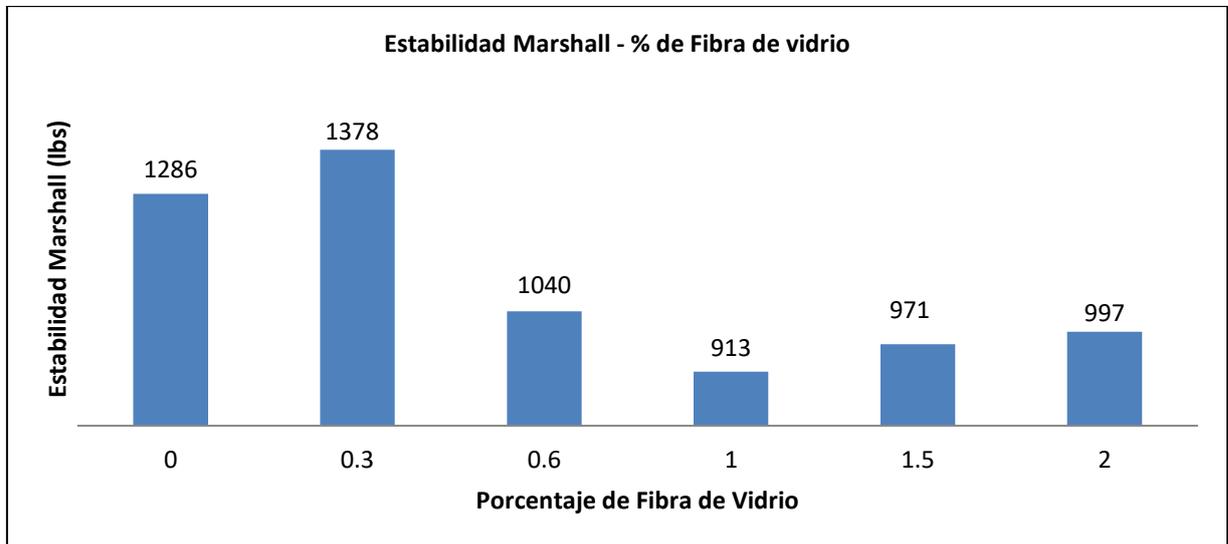
Se apreció una relación directa entre el peso específico y el porcentaje de fibra de vidrio, pues a mayor cantidad de fibra menor es el peso de la mezcla asfáltica.

Ensayo Marshall

Mediante la normativa ASTM D 1559 se ensayó las probetas, a una velocidad constante, que previamente fueron sometidos a baño maría por unos 50 minutos a 60 °C. De esta manera obteniendo los valores de Estabilidad y Fluencia para las distintas mezclas asfálticas permeables.

Estabilidad

Tabla 32.- Estabilidad mediante procedimiento Marshall.



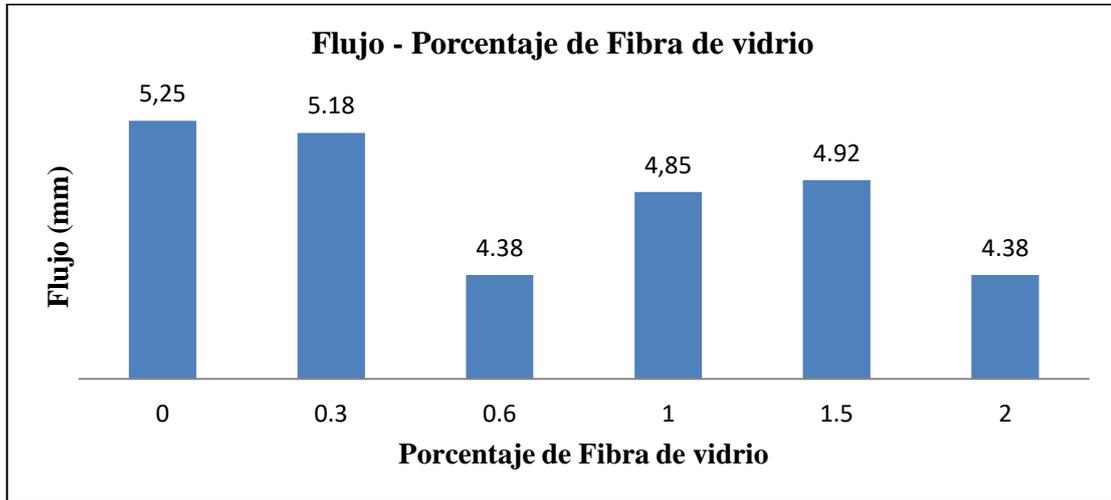
Fuente: Quizhpilema, 2022.

Al incorporar 0.30 % de fibra de vidrio se consiguió un aumento en la estabilidad en comparación con la fórmula patrón, mientras que las demás dosificaciones no lograron este acometido, pues este valor se redujo.

El flujo presentado en cada una de las mezclas asfálticas no llegó a establecerse dentro del rango propuesto por la normativa INVIAS, sin embargo, al comparar con la muestra testigo esta característica mejoró al incorporar fibra de vidrio, sobresaliendo aquellos diseños con el 0,6% y 2,0% adicionados de este material, pues lograron acercarse mucho al valor normado.

Flujo

Tabla 33.- Flujo mediante procedimiento Marshall.



Fuente: Quizhpilema, 2022.

Ensayo Densidad teórica máxima (Gmm)

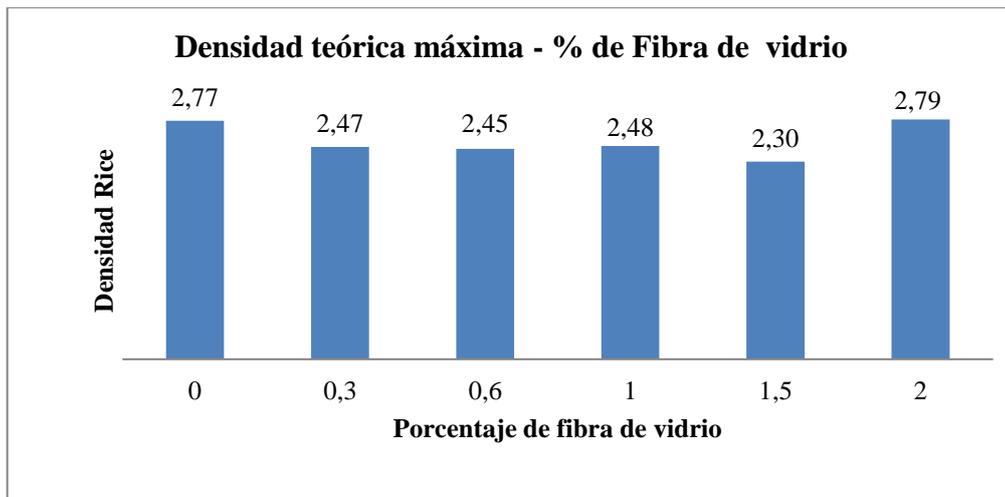


Ilustración 19.- Ensayo Densidad teórica máxima (Gmm)

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Las normativas que se usaron en este ensayo corresponden a la ASTM D 2041 Y AASHTO T 209, Una vez que se disgregó la muestra fue colocada en el frasco volumétrico junto con el agua a 25 °C, posteriormente con el envase cerrado se mantuvo bajo presión de 4 kPa por un periodo de 5 a 15 minutos con la finalidad de eliminar el aire incorporado en la mezcla.

Tabla 34.- Densidad Teórica máxima (Gmm).



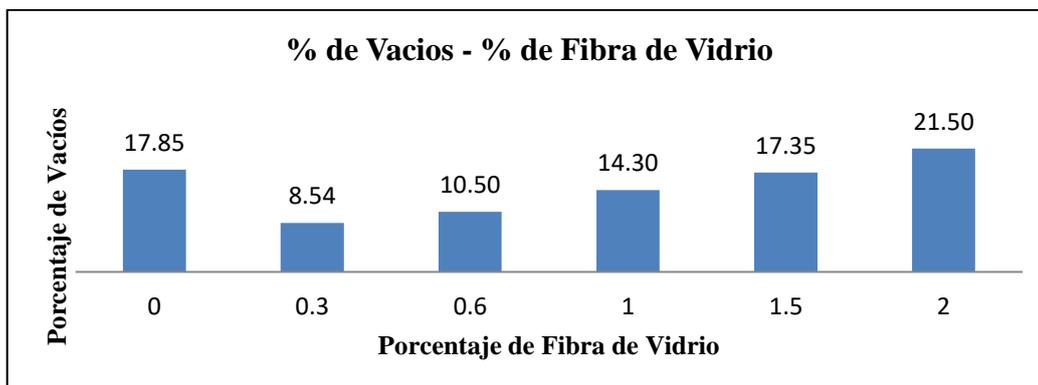
Fuente: Quizhpilema, 2022.

Se aprecia una disminución en la densidad de las mezclas asfálticas que fueron incorporadas fibra de vidrio con una excepción aquella muestra que se incorporó el 2%.

Porcentaje de Vacíos

Una vez que se encontró la densidad aparente y la densidad teórica máxima se logró determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, esto mediante la ASTM D 3202 y la AASHTO T 269.

Tabla 35.- Porcentaje de Vacíos de la Mezcla asfáltica permeable.



Fuente: Quizhpilema, 2022.

Al adicionar fibra de vidrio a la muestra testigo redujo el contenido de vacíos y a medida que se adicionó este material se incrementó nuevamente esta propiedad de la mezcla asfáltica, hasta el punto de sobrepasar a la mezcla patrón, correspondiente al 2,0% de dicho material.

Porcentaje óptimo de fibra de vidrio

Analizando los resultados obtenidos se encontró que el diseño de mezcla asfáltica óptima resultó al incorporar 2.00 % de fibra de vidrio al esqueleto mineral. Que a pesar de no cumplir con la estabilidad planteada en la normativa presentó propiedades relevantes, en especial el flujo y el porcentaje de vacíos cuya característica predomina en las mezclas permeables.

Fórmula maestra

Tabla 36.- Fórmula maestra propuesta

Agregados	Mezcla asfáltica permeable					Bitumen
	3/4	3/8	3/8	Fino	Fibra de Vidrio	
Lugar/Tipo	Guamote	Guamote	Rio Chambo	Rio Chambo	TRECX S.A	Ligante Bituminoso
%	21.01	5.73	45.75	21.01	2.00	4.5

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Cumplimiento de la Banda de Diseño

Denominación del tamiz (mm)	ASTM	% QUE PASA EN PESO			Observaciones
		Valor Min	Formula Maestra	Valor Max	
20	3/4"	-	78.99	100	Cumple
12.5	1/2"	70	78.99	100	Cumple
10	3/8"	50	51.48	80	Cumple
5	Nº 4	15	19.74	30	Cumple
2.5	Nº 8	10	20.38	22	Cumple
0.63	Nº 30	6	11.88	13	Cumple
0.08	Nº 200	3	4.46	5	Cumple

Fuente: Quizhpilema, 2022.

La granulometría planteada en la formula maestra cumplió con los limites superior e inferior de la banda de diseño planteada en la normativa.

Ensayo de la Macrotextura

Se tomó en cuenta la norma ASTM D 1599 en la elaboración de la loseta de asfalto y la normativa NLT-335 para el ensayo de la mancha de arena.

Moldes

Las dimensiones de los moldes fueron de 50 centímetros por cada lado y 10 de alto, la normativa no indica la dimensión que debe poseer, pero si resalta que el área de ensayo sea lo suficiente para que la arena empleada no se desborde.



Ilustración 20.- Moldes usados para las losetas.

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Elaboración de las losetas

Dosificación

Una vez que se determinó la fórmula maestra, tabla N° 36, se elaboró una loseta de dimensiones (50x50x5) cm tanto como para la fórmula testigo como para aquella incorporada fibra de vidrio. Obteniendo así las siguientes dosificaciones para el volumen requerido:

Tabla 37.- Dosificación para la loseta sin fibra de vidrio (Fórmula Testigo).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	5,419.87
3/8" (Guamote)	5.73	1,478.15
3/8" (Chambo)	47.75	12,317.89
Arena (Chambo)	21.01	5,419.87
Asfalto (Covipal)	4.5	1,160.85
	100	25,796.62

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 38.- Dosificación para la loseta 2 % de fibra de vidrio (Fórmula Maestra).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	5,419.87
3/8" (Guamote)	5.73	1,478.15
3/8" (Chambo)	47.45	11,802.0
Arena (Chambo)	21.01	5,419.87
Fibra (TRECX S.A)	2.00	515.9
Asfalto (Covipal)	4.5	1160.8
	100	25,796.62

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Elaboración

La loseta se realizó manteniendo el mismo procedimiento usado en la elaboración de las mezclas asfálticas, con la única diferencia en la forma de ejecutar la compactación.

➤ *Losetas de Mezcla Asfáltica sin Fibra de Vidrio*



Ilustración 21.- Elaboración de losetas sin Fibra de vidrio.

Fuente: Quizhpilema, 2022.

➤ *Losetas de Mezcla Asfáltica con 2% de Fibra de Vidrio*



Ilustración 22.- Elaboración de losetas con 2% de Fibra de vidrio.

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Energía de Compactación

La energía de compactación que se usó en las briquetas Marshall de mezcla asfáltica equivale a 1017 Joule, correspondiente a la caída de una masa de 4.5 kg a una altura de 45 cm para un total de 50 golpes por cada lado de la briqueleta. La energía necesaria para la loseta se determinó mediante una ponderación lineal, Anexo 3, obteniendo como resultado una energía de 42470 Joule, equivalente a de forma manual a 116 golpes de una masa de 50 kg a una altura de 75 cm.

Considerando la temperatura de compactación se optó por realizar este proceso con un compactador mecánico de manera que optimice el tiempo de este procedimiento. En el mercado los distintos tipos de compactadores detallan la energía brindada o a su vez su peso y altura de caída, Anexo 4, por lo que con esto datos se calculó la cantidad necesaria de 44 golpes a aplicarse sobre la loseta.



Ilustración 23.- Compactación mecánica de las losetas.

Fuente: Quizhpilema, 2022.

A continuación se evidencian las losetas y su respectiva permeabilidad debido a los porcentajes de vacíos que estas mezclas presentan, En el gráfico A se aprecia la loseta con el 2% de fibra de vidrio incorporado al esqueleto mineral (fórmula maestra) y en el gráfico B se encuentra la muestra de control (fórmula testigo).

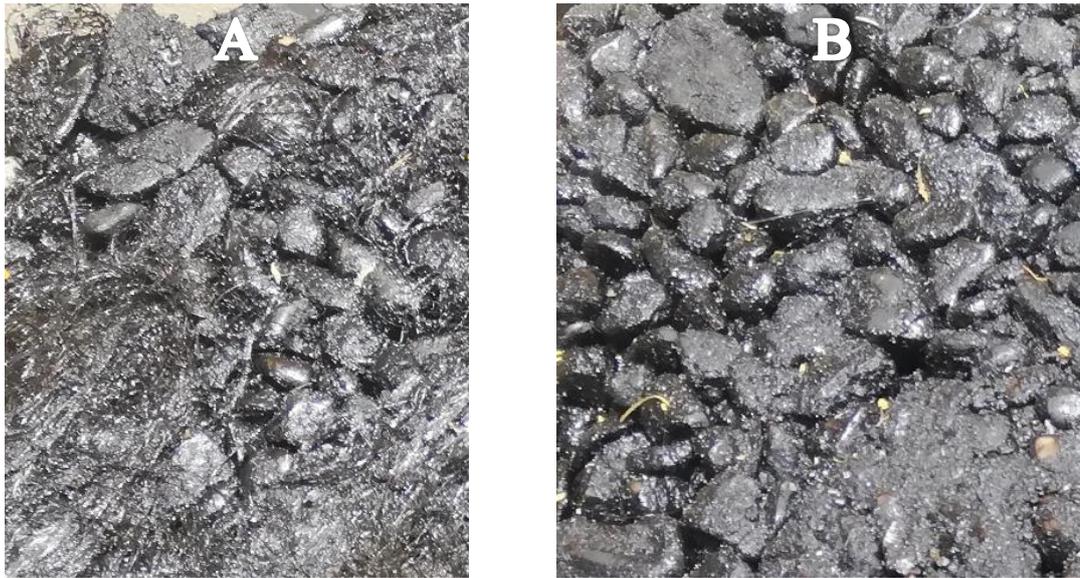


Ilustración 24.- Losetas realizadas con el 2% y 0% de Fibra de vidrio.

Fuente: Quizpilema, 2022.

Ensayo de la mancha de Arena

Se secó y desmoldó las losetas y posteriormente se las ubicó en un lugar alejado de las corrientes del viento, se preparó la granulometría y cantidad necesaria de arena de sílice a usar en el ensayo (50 cm^3), mismos que se encuentran especificados en la normativa NLT 335/ 87. Las características de la arena usada en el ensayo se detallan en el Anexo 5.

Se colocó la arena sobre las losetas y se las esparció de manera uniforme de modo que todos los espacios sean llenados, de esta forma se cuantificó las medidas del diámetro del círculo de arena que se ha formado. Cabe recalcar que se tomó 4 mediciones del círculo para promediar y tener un valor más significativo en este ensayo.



Ilustración 25.- Ensayo de Macrotextura.
Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 39.- Ensayo de Macrotextura a la loseta sin Fibra de Vidrio- muestra 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MACROTEXTURA		
REALIZADO POR:	Julio Quizhpilema	MUESTRA: Loseta (0% de Fibra de Vidrio)
TUTOR:	Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 05/07//2022
UBICACIÓN:	Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de la UNACH	
Variable	Significado	
H	Profundidad media de textura superficial , en mm	
V	Volumen de la arena utilizada, en mm^3	50 000
R	Radio medio del círculo de arena, en mm	261.25
RESULTADOS		
H	$\frac{V}{\pi \cdot R^2}$	0.933

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 40.- Ensayo de Macrotextura a la loseta sin Fibra de Vidrio- muestra 2.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MACROTEXTURA		
REALIZADO POR: Julio Quizhpilema		MUESTRA: Loseta (0% de Fibra de Vidrio)
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 05/07//2022
UBICACIÓN: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de la UNACH		
Variable	Significado	
H	Profundidad media de textura superficial , en mm	
V	Volumen de la arena utilizada, en mm^3	50 000
R	Radio medio del círculo de arena, en mm	266.25
RESULTADOS		
H	$\frac{V}{\pi * R^2}$	0.898

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 41.- Ensayo de Macrotextura a la loseta con 2% de Fibra de Vidrio- muestra 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MACROTEXTURA		
REALIZADO POR: Julio Quizhpilema		MUESTRA: Loseta (2% de Fibra de Vidrio)
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 05/07//2022
UBICACIÓN: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de la UNACH		
Variable	Significado	
H	Profundidad media de textura superficial , en mm	
V	Volumen de la arena utilizada, en mm^3	50 000
R	Radio medio del círculo de arena, en mm	226
RESULTADOS		
H	$\frac{V}{\pi * R^2}$	1.246

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 42.- Ensayo de Macrotextura a la loseta con 2% de Fibra de Vidrio- muestra 2.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYO: MACROTEXTURA		
REALIZADO POR: Julio Quizhpilema	MUESTRA: Loseta (0% de Fibra de Vidrio)	
TUTOR: Ing. Vladimir Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 05/07//2022	
UBICACIÓN: Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Laboratorios de la UNACH		
Variable	Significado	
H	Profundidad media de textura superficial , en mm	
V	Volumen de la arena utilizada, en mm^3	50 000
R	Radio medio del círculo de arena, en mm	234.25
RESULTADOS		
H	$\frac{V}{\pi \cdot R^2}$	1.160

Fuente: Quizhpilema, 2022.

2.1.1.1.1. Comparación de la Textura Superficial

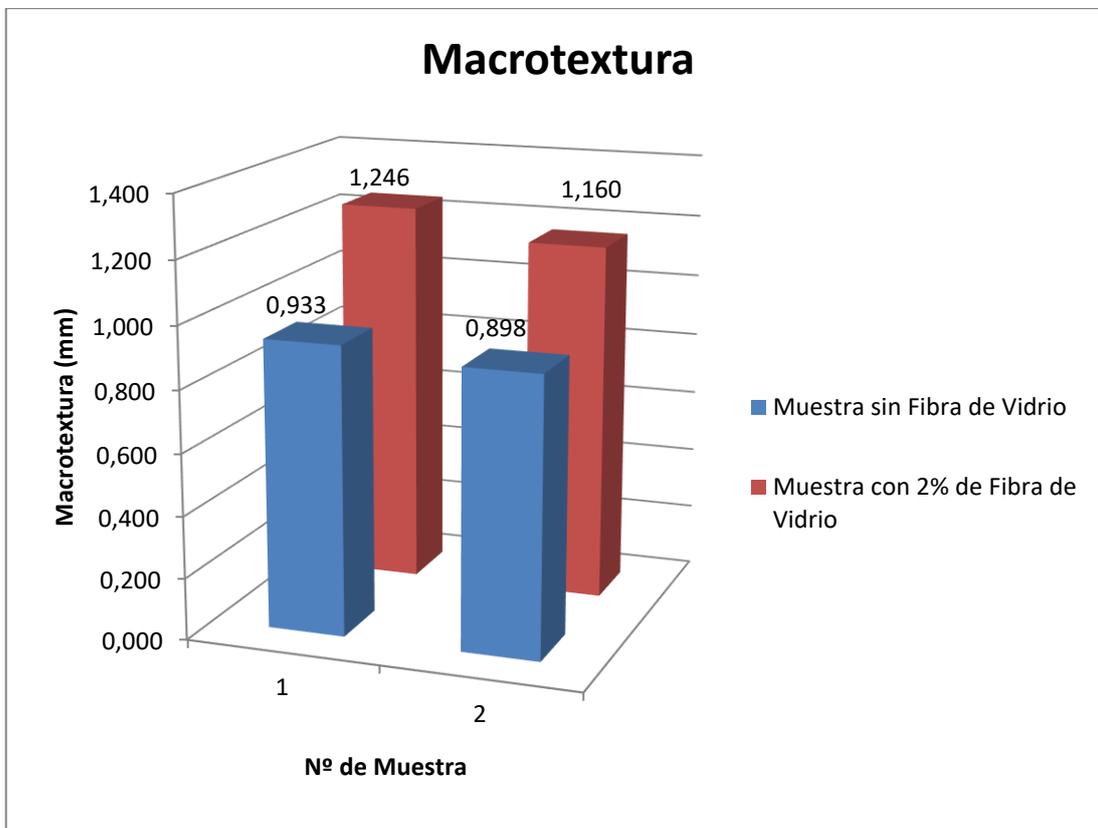


Ilustración 26.- Textura Superficial presente en las losetas elaboradas.

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Se encontró que las mezclas asfálticas elaboradas con el 2% de fibra de vidrio presentó una mayor textura superficial en comparación a la muestra testigo. Según el MOP, el valor mínimo a obtener en el ensayo de macrotextura mediante el círculo de arena debe ser de 0.5 mm (Anexo 6) y los resultado obtenidos en este ensayo se encuentran por encima de dicho valor normado indicando que las mezclas permeables gozan de una rugosidad satisfactoria.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El porcentaje de absorción de la fibra de vidrio resultó considerablemente elevado en comparación con los demás agregados usadas en la mezcla, siendo una de las razones de que la estabilidad se vea afectada, pues se observó que a mayor adición de fibra de vidrio menor fue la cantidad de recubrimiento del bitumen en los agregados, provocando que estos se disgreguen por falta de cohesión.

Además la fibra influyó directamente en las propiedades volumétricas de las mezclas permeables, pues a mayor porcentaje de dicho agregado estas incrementaron su volumen y disminuyó su peso específico volviéndolas menos densa. Asimismo, el porcentaje de vacíos aumento en un 20% en comparación con la fórmula testigo, y a pesar de su disminución en la estabilidad esta mezcla garantiza la rápida evacuación de las aguas pluviales debida a la permeabilidad que posee.

Las características Marshall también se vieron modificadas con la adición de fibra de vidrio, la Estabilidad se redujo y no pudo de llegar a cumplir con el valor normado. Por otra parte el Flujo fue superior a lo planteado en la normativa, aun que a mayor cantidad de fibra se mejoró esta característica, indicando la tendencia a alcanzar una condición plástica.

El porcentaje óptimo de fibra de vidrio incorporado al esqueleto mineral proporcionó una granulometría que satisface la banda de diseño propuesta por el Manual de Carreteras, Normativa Chilena, misma que fue usada en el diseño de la formula testigo. Por otra parte, la compactación mecánica usada en las losetas resultó un método apropiado por su eficacia en la elaboración de mezclas asfálticas.

Al incorporar el porcentaje óptimo de fibra de vidrio a las losetas de mezcla asfáltica usadas en el ensayo de la mancha de arena se evidencia una mayor textura superficial, logrando incrementar este valor en 33%. Un claro indicador que la capa de rodadura elaborada con esta mezcla brindará una mejor rugosidad y por ende un mejor agarre del neumático al pavimento.

Recomendaciones

Se recomienda usar la mezcla asfáltica en vías en las que las cargas aplicadas no sean muy elevadas y además se requiera una rápida evacuación de las aguas pluviales, como por ejemplo para aceras en parques, vías para ciclismo o tráfico liviano, entre otros.

Por otra parte, se sugiere buscar una alternativa que compense la cantidad de absorción que posee la fibra de vidrio o a su vez buscar otro tipo de fibra, de igual manera se recomienda usar un asfalto modificado con polímeros con la finalidad de mejorar las propiedades Marshall.

En cuanto a la conformación de losetas con mezcla asfáltica se sugiere que en el proceso de compactación se rigidice lo máximo posible los moldes, de manera que al momento de realizar este proceso estos no se abran o no se compacte uniformemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador, V. (2014). Metodología de diseño y colocación de mezclas drenantes-, 1110165429(1).
- Arévalo Mazón, J. E., & Rodríguez Hernández, J. P. (2021). *DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE CON AGREGADOS MINERALES DE LA ZONA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD.
- Arias, G., Galvis, W., Orduña, L., Rodríguez, J., & Sánchez, G. (2013, April 10). Mezclas asfálticas (2). Retrieved January 9, 2022, from <https://es.slideshare.net/leonel321/mezclas-asfálticas-2>
- Asphalt_Institute. (2001). *SUPERPAVE DISEÑO HMA INSTITUO ASFALTO* (Third Edit). Superpave Series No.2.
- Construneic. (2022). ▷ Que es un PAVIMENTO FLEXIBLE ?? Tipos y características. Retrieved July 29, 2022, from <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-flexible/>
- Cooley, L. A. (1999). Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters. *NCAT Report 99-01*, (99), 63.
- Corral Ávalos, A. F. (2016). *Estudio para la valorización de los neumáticos nacionales e importados mediante norma INEN NTE 2097 e INEN NTE 2099*. Universidad Internacional del Ecuador. Retrieved from <http://www.bssaonline.org/content/95/6/2373%5Cnhttp://www.bssaonline.org/content/95/6/2373.short%0Ahttp://www.bssaonline.org/cgi/doi/10.1785/0120110286%0Ahttp://gji.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/gji/ggv142%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/s00024-01>
- DORADO DORADO, H. L., & GUARIN COBO, A. (2014). INFLUENCIA DE LA ENERGÍA Y TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SOBRE SU COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA Y COMPORTAMIENTO DINÁMICO, UTILIZANDO EQUIPO MARSHALL, GIRATORIO (SUPERPAVE) Y COMPACTACIÓN A PRESIÓN. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Esparza Aguirre, S. S. (2015). Determinación de la textura superficial por el método del círculo de arena y mediante el software SPIPTM en pavimentos asfálticos.
- Flores Yancachajlla, H. D. (2014). *ENSAYO DE MARSHALL*. Perú. Retrieved from

https://www.academia.edu/9826713/ENSAYO_DE_MARSHALL

Inec, G. (2002). CHIMBORAZO: EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL.

INEN. PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD). REQUISITOS. (2010). Ecuadorr.

Ipiales Carlosama, E. D. T. (2019). *ESTUDIO DE LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LOS ACCESOS PRINCIPALES DE JIPIJAPA*. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.

Li, H., Kayhanian, M., & Harvey, J. T. (2013). Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. *Journal of Environmental Management*, 118, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.016>

MOP. (2002). Especificaciones Generales Especificaciones Generales Para La Construcion Para La Construcion De Caminos Y Puentes De Caminos Y Puentes, 001-F, 772. Retrieved from http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf

MTC - SECCION SUELOS, M. (2014). Manual de Carreteras. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, (1), 1285. Retrieved from https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES_DE_CARRETERAS_2019/MC-05-14_Seccion_Suelos_y_Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf

Olguin de la Mora, D. F., & Monroy Miranda, F. (2016). Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad, 68. Retrieved from <file:///C:/Users/PEDRIN/Downloads/Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2009). *Información sobre la situación mundial sobre la Seguridad Vial. Es hora de pasar a la acción.*

Orojuela Jiménez, J. D., & Hernández Pachón, C. A. (2018). *Diseño, construcción y calibración de un Permeámetro LCS para mezclas asfálticas drenantes. Proyecto de Grado*. Universidad Católica de Colombia.

Ponce Quispe, A. J. (2021). *Aplicación de fibras de vidrio en el diseño de mezcla asfáltica*

en caliente para rehabilitar pavimentos flexibles en Juliaca, 2021. TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero Civil. Universidad César Vallejo, Lima. Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quiroz, & Trujillo. (2013). Pavimentos Porosos como sistemas Alternativos al Drenaje Urbano. *Pontificia Universidad Javeriana*, 114.

Raposeiras Ramos, A. C. (2013). *Análisis de los riegos de adherencia en pavimentos bituminosos: influencia de la macro-textura en la dotación óptima de ligante y desarrollo de un nuevo método de control de la cantidad aplicada.* UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.

Revelo López, G. A. (2016). *ESTABILIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO Y METÁLICAS. TRABAJO DE TITULACIÓN.* UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.

Róndon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño* (1era ed.). Colombia: Ecoe Ediciones.

Suresh Sadhwani, L. (2019). *Trabajo Fin de Grado. FIBRA DE VIDRIO.* UNIVERSIDAD COMPLUTENSE TRABAJO. Retrieved from <http://zagan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>

Torres Castelblanco, D. M., Mosquera Idrobo, L. F., Torres Agredo, J., Valencia Vivas, S. F., Gallego Restrepo, S., & Alvarez Hincapie, F. (2019, May 20). Estudio preliminar sobre el aprovechamiento de escoria de fundición de plomo secundario en la obtención de mezclas asfálticas. *Ingeniería y Desarrollo*, pp. 3–5. <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6241>

ANEXOS

Anexo 1: Fibra de Vidrio.

Tabla 43.- Características de la Fibra de Vidrio

CERTIFICATE OF ANALYSIS				
NO.2101-17258		JS/04-2JC-54		
Customer Name	TRECX SA	Sampling Dept.	Testing Center	
Product Name	E Glass Chopped Strand Mat_Powde	Sampling Spot	Roving Forming Workshop	
Product Code	EMC375-1500-P20	Production Date	2021.4 20-2021.5.5	
Total Amount	19952.00 kg	Testing Date	2021.4 20-2021.5.5	
Various Tesis Conducted	ACCEPTED STANDARDS		TEST RESULTS	
	Standard No.	Standard Value	Average Value	Passed? / Yes or No
Area Weight (g/m ²)	ISO 3374 - 2000	352 - 395	376	Yes
Loss On Ignition (%)	ISO 1887 - 2014	1.93 - 3.67	2.23	Yes
Moisture Content (%)	ISO 3344 - 1997	≤ 0.15	0.03	Yes
Tensile Breaking Force (N)	ISO 3342 - 2011	≥ 100	184	Yes
Test Conditions	Testing Temperature	18 °C	Relative Humidity	54%
Test Conclusions	Conformed to all above specification		Passed all above requirements	
Test Conducted By	Chen Qiuxia			
Test Supervisor	Cui Fengbo	Date	2021.5.6	

Fuente: TRECX S.A

Anexo 2: Dosificaciones usadas para las Mezclas Asfálticas

Tabla 44.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica testigo (0 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.12
3/8" (Guamote)	5.73	68.76
3/8" (Chambo)	47.75	573.00
Arena (Chambo)	21.01	252.12
Asfalto (Covipal)	4.5	54.00
	100	1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 46.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (0.6 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.12
3/8" (Guamote)	5.73	68.76
3/8" (Chambo)	47.15	565.8
Arena (Chambo)	21.01	252.12
Fibra (TRECX S.A)	0.6	7.2
Asfalto (Covipal)	4.5	54
	100	1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 48.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (1.5 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.12
3/8" (Guamote)	5.73	68.76
3/8" (Chambo)	46.25	555
Arena (Chambo)	21.01	252.12
Fibra (TRECX S.A)	1.5	18
Asfalto (Covipal)	4.5	54
	100	1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 45.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (0.3 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.12
3/8" (Guamote)	5.73	68.76
3/8" (Chambo)	47.45	569.4
Arena (Chambo)	21.01	252.12
Fibra (TRECX S.A)	0.3	3.6
Asfalto (Covipal)	4.5	54
	100	1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 47.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (1.0 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.12
3/8" (Guamote)	5.73	68.76
3/8" (Chambo)	46.75	561
Arena (Chambo)	21.01	252.12
Fibra (TRECX S.A)	1	12
Asfalto (Covipal)	4.5	54
	100	1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Tabla 49.- Dosificación usada para la mezcla asfáltica (2.0 % de Fibra de vidrio).

Agregados	%	Gramos
3/4" (Guamote)	21.01	252.1
3/8" (Guamote)	5.73	68.8
3/8" (Chambo)	45.75	549.0
Arena (Chambo)	21.01	252.1
Fibra (TRECX S.A)	2	24.0
Asfalto (Covipal)	4.5	54.0
		1200

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Anexo 3: Energía de compactación usada en la loseta de mezcla asfáltica.

- Energía de compactación necesaria en la loseta

Energía	Espesor	Área
Joule	cm	cm ²
1017.228	6.35	76.047
X	5	2500

X= Energía de compactación necesaria= 42470 Joule

Energía de compactación empleada

Tabla 50.- Energía de compactación empleada en la briqueta y la loseta.

	Energía de Compactación (Briqueta)	Compactación Mecánica (Loseta)	Compactación Manual (Loseta)	Unidad
Altura de caída	457.2	61	750	mm
	0.4572	0.061	0.75	m
Masa	4536	71000	50000	gr
	4.536	71	50	kg
Gravedad	9.81	9.81	9.81	m/s ²
Energía	20.345	976.0	367.875	Joule
Nº de Golpes	50	44	116	Nº
Energía total	1017.23	42944	42674	Joule

Fuente: Quizhpilema, 2022.

Anexo 4: Especificación del compactador mecánico usado.

Marca Modelo	Unidad	WACKER BS50 - 2i
Peso de servicio	Kg	59
Tamaño del pistón (AxL)	mm	280 x 330
L x A x H	mm	673 x 343 x 940
Régimen de percusión máx.	l/min	700
Elevación en el pistón	mm	64.3
Velocidad de trabajo	m/min	9.5
Rendimiento superficial	m ³ /h	159

Tipo de motor

Motor a gasolina
monocilíndrico de dos
tiempos refrigerado
por aire



Fuente: Ficha Técnica WACKER BS50-2i | Bagant Ecuatoriana

Anexo 5: Características de la arena de sílice.

Propiedades		
Contenido de SIO ₂	99.0 - 100	
Contenido de humedad	8,00 % máximo	
Contenido en AL ₂ O ₃	0.3 - 0.39 %	
Contenido en FE ₂ O ₃	0,03 %	
Contenido en CaO	0,00 %	
Contenido en MgO	0,02 %	
Contenido en Na ₂ O	0,00 %	
Contenido en K ₂ O	0,04 %	
Contenido en P.fuego	0,36 %	

GRANULOMETRÍA		
ARENA DE SILICE LAVADA		
Forma física Fina	Pasamalla %	Retenido %
Nº 4:	100.00	0.00
Nº 8:	100.00	0.00
Nº 16:	100.00	0.00
Nº 30:	96.74	3.26
Nº 50:	82.03	17.97
Nº 100:	12.97	87.03

Fuente: CSM IMPORTACIONES S.A.S

2.2. Anexo 6: Valor mínimo de macrotextura

OBJETIVO	PARAMETRO	EXIGENCIAS	PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN
Comodidad	Rugosidad (m/km)	Hormigón Asfáltico Máx. 2.5 IRI Tratamiento superficial Máx. 4.0 IRI	Roadmeters o algún tipo de perfilómetro estático o dinámico
Seguridad	Coefficiente longitudinal	rozamiento Mín. 0,5	Péndulo TRL (británico)
	Macrotextura	Mín. 0,5 mm	Mancha de arena

Fuente: (MOP.2002)